

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

57

(11)Publication number : 2000-133588

(43)Date of publication of application : 12.05.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 1/02

G02B 13/24

G03F 7/20

(21)Application number : 11-173775

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 21.06.1999

(72)Inventor : SUENAGA YUTAKA  
OMURA YASUHIRO

(30)Priority

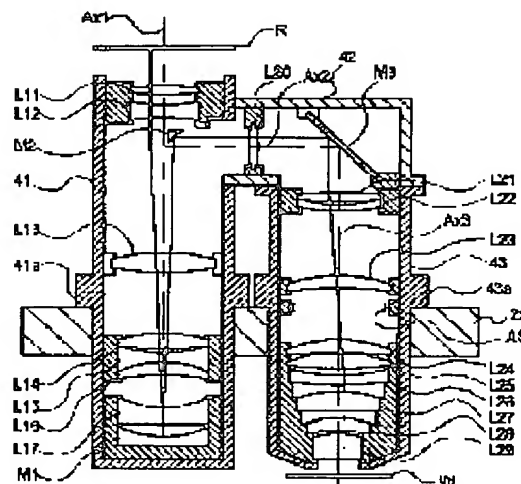
Priority number : 10231531 Priority date : 18.08.1998 Priority country : JP

## (54) ALIGNER, MANUFACTURE THEREOF AND EXPOSING METHOD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To decrease the absorption of exposure energy beam of a refracting optical member by a method, wherein all refracting optical members in a projection optical system are formed from the fluoride crystal material of at least two or more kinds.

**SOLUTION:** Refracting optical members L11 to L16 and a concave mirror M1 in the first lens barrel are arranged along a light axis Ax1. A refracted optical member 20 on an optical axis deflected part 42 is arranged along the light axis Ax2 which almost crosses at right angle with the light axis Ax1, and the refracted optical members L21 to L29 in the second lens barrel 43 are arranged along a light axis Ax3. The refracted optical members L11 to L16, L20 to L29 in the projection optical system are formed, using the fluoride crystal having sufficient transmittance to the exposure energy beam of 200 nm or less. Also, as a refracted optical member, at least two kinds of fluoride crystal are one or two or more kinds of fluoride is formed as a fluoride. The generation of fluctuation of irradiation due to the absorption of exposed energy beam is prevented.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's  
decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-133588

(P2000-133588A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I                           | テマコード (参考) |
|---------------------------|-------|-------------------------------|------------|
| H 0 1 L 21/027            |       | H 0 1 L 21/30                 | 5 1 5 D    |
| G 0 2 B 1/02              |       | G 0 2 B 1/02                  |            |
| 13/24                     |       | 13/24                         |            |
| G 0 3 F 7/20              | 5 2 1 | G 0 3 F 7/20                  | 5 2 1      |
|                           |       | H 0 1 L 21/30                 | 5 1 5 B    |
|                           |       | 審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 34 頁) |            |

(21) 出願番号 特願平11-173775

(22) 出願日 平成11年6月21日 (1999.6.21)

(31) 優先権主張番号 特願平10-231531

(32) 優先日 平成10年8月18日 (1998.8.18)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 末永 豊

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 大村 泰弘

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

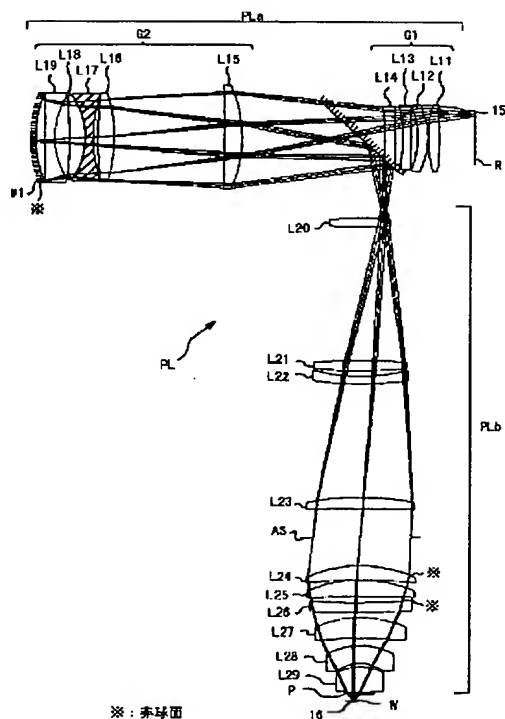
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 露光装置及び方法、該露光装置の製造方法並びに該露光装置を用いたデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】極めて微細なパターンを転写すること

【解決手段】投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に転写する露光装置であって、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明系；及び前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンの像を前記基板上に形成する投影系；を含み、前記投影系は、前記露光エネルギービームの光路に沿って配置された少なくとも2つの屈折光学部材を含み、前記投影系中の全ての前記屈折光学部材は、少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料からなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に転写する露光装置において、

200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンを前記基板上に形成する投影光学系；を含み、

前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路に沿って配置された少なくとも2つの屈折光学部材を含み、

前記投影光学系中の全ての前記屈折光学部材は、少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料からなることを特徴とする露光装置。

【請求項2】前記少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種は、螢石であることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項3】前記投影光学系中の全ての前記屈折光学部材の軸上厚の総和を $\Sigma D$ とし、前記螢石で構成される前記屈折光学部材の軸上厚の総和を $\Sigma D_c$ とするとき、 $0.60 < \Sigma D_c / \Sigma D < 0.98$

を満足することを特徴とする請求項1または2記載の露光装置。

【請求項4】前記投影光学系は、少なくとも2つの螢石からなる正レンズを含むことを特徴とする請求項2または3の何れか一項記載の露光装置。

【請求項5】前記少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種は、フッ化バリウムであることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項記載の露光装置。

【請求項6】前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化バリウムの結晶材料からなる負レンズを含むことを特徴とする請求項5記載の露光装置。

【請求項7】前記光源は、160nm以下の露光光を供給することを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項記載の露光装置。

【請求項8】前記光源は、1.5 $\mu$ mよりも狭い半値全幅の露光光を供給することを特徴とする請求項1乃至7の何れか一項記載の露光装置。

【請求項9】前記光源から前記基板へ至る光路のうちの一部の光路は外気から密封された密封空間を形成し、該密封空間には酸素濃度を低減させた気体が封入されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れか一項記載の露光装置。

【請求項10】前記照明光学系は、反射鏡とフッ化物の結晶材料からなる屈折光学部材との少なくとも一方で構成されることを特徴とする請求項1乃至9の何れか一項記載の露光装置。

【請求項11】前記少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、第1の分散 $dn_1/d\lambda$ を有する第1のフッ化物の結晶材料と、第2の分散 $dn_2/d\lambda$ を有する

第2のフッ化物の結晶材料とを含み、

以下の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至10の何れか一項記載の露光装置。

$$0.1 \times 10^6 < |(dn_1/d\lambda) - (dn_2/d\lambda)|$$

【請求項12】前記少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化リチウム、フッ化マグネシウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択された少なくとも2種類の材料であることを特徴とする請求項1乃至11の何れか一項記載の露光装置。

【請求項13】前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路中に配置された少なくとも1つの凹面鏡を含むことを特徴とする請求項1乃至12の何れか一項記載の露光装置。

【請求項14】前記投影光学系の前記露光エネルギービームの光路中には、光透過性光学部材のみが配置されることを特徴とする請求項1乃至12の何れか一項記載の露光装置。

【請求項15】前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸を有することを特徴とする請求項1乃至12の何れか一項記載の露光装置。

【請求項16】前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化リチウムからなる正レンズを有し、かつ少なくとも1つのフッ化カルシウムからなる負レンズを有することを特徴とする請求項14または15記載の露光装置。

【請求項17】前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化バリウムからなる負レンズを有し、かつ少なくとも1つのフッ化カルシウムからなる正レンズを有することを特徴とする請求項1乃至15の何れか一項記載の露光装置。

【請求項18】投影原版上に設けられたパターンを基板上に転写する露光装置において、

200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンを前記基板上に形成する投影光学系；を含み、

前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路に沿って配置された少なくとも2つの屈折光学部材を含み、

前記投影光学系の前記露光エネルギービームの光路中に位置する全ての光透過性の材料は、石英を除く少なくとも2種類以上の材料からなることを特徴とする露光装置。

【請求項19】投影原版上に設けられたパターンを基板上に転写する露光装置において、

200nm以下の露光エネルギービームを供給する光

源；該光源からの前記露光エネルギービームを受けることができる位置に配置されて、前記露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版と前記基板との間に配置されて、前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンの像を前記基板上に形成する投影光学系；を含み、前記投影光学系は、

凹面鏡と、

フッ化物の結晶材料から構成されたビームスプリッタと、

該ビームスプリッタと前記投影原版との間の光路中に配置される第1のレンズ群と、

該ビームスプリッタと前記基板との間の光路中に配置される第2のレンズ群と、を含み、

前記投影原版を経由した前記露光エネルギービームは、前記第1のレンズ群、及び前記ビームスプリッタを順に通過して、前記凹面鏡で反射され、前記ビームスプリッタ及び前記第2のレンズ群を順に通過して前記基板上に達することを特徴とする露光装置。

【請求項20】前記第1及び第2のレンズ群は、フッ化物の結晶材料から構成されることを特徴とする請求項19記載の露光装置。

【請求項21】前記第1及び第2のレンズ群の少なくとも一方は、少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料からなることを特徴とする請求項20記載の露光装置。

【請求項22】前記ビームスプリッタはキューブ型ビームスプリッタであることを特徴とする請求項19乃至21の何れか一項記載の露光装置。

【請求項23】前記キューブ型ビームスプリッタは、光路変換面を有し、

前記キューブ型ビームスプリッタを形成している結晶材料の(111)面が前記光路変換面を透過する光束に対してほぼ垂直又はほぼ平行となるように位置決めされることを特徴とする請求項22記載の露光装置。

【請求項24】前記 前記キューブ型ビームスプリッタを形成している結晶材料の(111)面が前記光路変換面を透過する光束に対してほぼ垂直となるように位置決めされることを特徴とする請求項23記載の露光装置。

【請求項25】前記フッ化物の結晶材料は、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化リチウム、フッ化マグネシウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択されることを特徴とする請求項19乃至24の何れか一項記載の露光装置。

【請求項26】請求項1乃至25の何れか一項記載の露光装置を用いたデバイスの製造方法であって、前記基板上に感光材料を塗布する第1工程と、前記光源からの前記露光エネルギービームに基づいて、前記基板上に前記投影光学系を介して前記マスクのパタ

ーンの像を投影する第2工程と、

前記基板上の前記感光材料を現像する第3工程と、該現像後の感光材料をマスクとして前記基板上に所定の回路パターンを形成する第4工程と、を有することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項27】投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に露光する方法において、

200nm以下の露光エネルギービームを供給する第1工程と、

供給された前記露光エネルギービームを前記投影原版へ導く第2工程と、

前記投影原版からの露光エネルギービームを少なくとも2つの屈折光学部材へ導いた後に、前記パターンの像を前記基板上に形成する第3工程とを含み、

前記投影原版と前記基板との間に位置する全ての屈折光学部材は、少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料からなることを特徴とする露光方法。

【請求項28】波長200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源を準備する工程と、

第1のフッ化物結晶から第1屈折光学素子を形成する工程と、

該第1のフッ化物結晶とは異なる第2のフッ化物結晶から第2屈折光学素子を形成する工程と、

前記光源からの露光エネルギービームの光路中に沿って前記第1及び第2屈折光学素子を配置する工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子や液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程中において、投影原版上のパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置及び方法、この露光装置を用いたデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）の製造方法、及びこの露光装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンの像を投影光学系を介して、レジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写する一括露光型（ステッパー等）、又はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置が使用されている。半導体集積回路等のパターンの微細化が進むに従って、その種の露光装置に備えられている投影光学系に対しては特に解像力の向上が望まれている。投影光学系の解像力を向上するためには、露光波長をより短くするか、あるいは開口数(N.A.)を大きくすることが考えられる。

【0003】そこで、近年、露光光（露光エネルギービーム）については、水銀ランプのg線（波長436nm）からi線（波長365nm）が主に用いられるよう

になってきており、最近ではより短波長の露光光、例えばKrFエキシマレーザ光（波長248nm）、更にはArFエキシマレーザ光（波長193nm）、F2レーザ光（波長157nm）等の深紫外線領域や真空紫外領域の光が用いられようとしている。

【0004】さて、200nm以下の紫外線領域の露光エネルギービームで使用される投影光学系としては、例えば特開平5-173065号公報、米国特許第5,402,267号公報、米国特許第5,668,672号公報等において提案されている

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記各公報において提案されている技術では、屈折光学素子として合成石英（SiO<sub>2</sub>）を含む構成となっている。200nm以下の紫外先領域の露光エネルギービームを露光光として用いる場合、この波長域が酸素の吸収帯に近い波長域であるため、酸素（O<sub>2</sub>）を含む合成石英はこの波長域の露光エネルギービームを吸収する恐れがある。また、合成石英の製造工程において不純物等が混入することによって、この波長域での透過率低下（吸収率増大）を招く恐れがある。

【0006】この場合、合成石英がこの波長域の露光エネルギービームを吸収することにより熱を生じ、これにより石英自体の屈折率変化や、熱膨張による面形状変化を招く恐れがある。このような露光エネルギービームによる照射変動が生じると投影光学系の性能が劣化し、微細なパターンの転写が困難になる恐れがある。一方、200nm以下の波長域の露光エネルギービームを供給する光源に関しては、その波長幅を狭くすること、すなわち狭帯化が進んできているとはいえ、ある程度の波長幅を有しているのが実状である。従って、投影原版上のパターンをコントラストを維持した状態で基板上へ転写するためには、投影光学系の色収差補正を行うことが肝要である。

【0007】上記特開平5-173065号公報及び米国特許第5,402,267号公報の投影光学系では、屈折光学部材が1種類の石英のみで構成されているため、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源と組み合わせて使用した場合、照射変動による結像性能劣化の恐れがある。また、米国特許第5,668,672号公報では、石英からなる硝材と螢石からなる硝材とを組み合わせて色収差補正を行っているが、投影光学系中に石英が存在しているため、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源と組み合わせて使用した場合には照射変動による結像性能劣化の恐れがある。このように、上記各公報に開示された技術では、結果として微細パターンの転写が困難となる。

【0008】そこで、本発明は、極めて微細なパターンを転写することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明にかかる露光装置は、投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に転写する露光装置であって、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンの像を前記基板上に形成する投影光学系；を含み、前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路に沿って配置された少なくとも2つの屈折光学部材を含み、前記投影光学系中の全ての前記屈折光学部材は、少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料からなるものである。

【0010】また、上記目的を達成するために、本発明にかかる露光装置は、投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に転写する露光装置であって、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンの像を前記基板上に形成する投影光学系；を含み、前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路に沿って配置された少なくとも2つの屈折光学部材を含み、前記投影光学系の前記露光エネルギービームの光路中に位置する全ての光透過性の材料は、石英を除く少なくとも2種類以上の材料からなるものである。

【0011】また、上記目的を達成するために、本発明にかかる露光装置は、投影原版上に設けられたパターンの像を基板上に転写する露光装置であって、200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源；該光源からの前記露光エネルギービームを受けることができる位置に配置されて、前記露光エネルギービームを前記投影原版へ導く照明光学系；及び前記投影原版と前記基板との間に配置されて、前記投影原版からの露光エネルギービームに基づいて、前記パターンの像を前記基板上に形成する投影光学系；を含み、前記投影光学系は、凹面鏡と、フッ化物の結晶材料から構成されたビームスプリッタと、該ビームスプリッタと前記投影原版との間の光路中に配置される第1のレンズ群と、該ビームスプリッタと前記基板との間の光路中に配置される第2のレンズ群と、を含み、前記投影原版を経由した前記露光エネルギービームは、前記第1のレンズ群、及び前記ビームスプリッタを順に通過して、前記凹面鏡で反射され、前記ビームスプリッタ及び前記第2のレンズ群を順に通過して前記基板上に達するものである。

【0012】本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種は、螢石である。本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系中で露光エネルギービームが通過する全ての前記屈折光学部材の軸上厚の総和をΣDとし、前記螢石で構成される前記屈折光学部材の軸上厚の

総和を $\Sigma Dc$ とすると、

$$(1) \quad 0.60 < \Sigma Dc / \Sigma D < 0.98$$

を満足するものである。

【0013】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、少なくとも2つの螢石からなる正レンズを含むものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種は、フッ化バリウムである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化バリウムの結晶材料からなる負レンズを含むものである。

【0014】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記光源は、160nm以下の露光光を供給するものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記光源は、1.5 $\mu$ mよりも狭い半値

$$(2) \quad 0.1 \times 10^6 < |(dn1/d\lambda) - (dn2/d\lambda)|$$

また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、フッ化カルシウム(CaF<sub>2</sub>)、フッ化バリウム(BaF<sub>2</sub>)、フッ化リチウム(LiF)、フッ化マグネシウム(MgF<sub>2</sub>)、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド(LiCaAlF<sub>6</sub>)、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライド(LiSrAlF<sub>6</sub>)からなるグループから選択された少なくとも2種類の材料である。

【0016】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路中に配置された少なくとも1つの凹面鏡を含むものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系の前記露光エネルギービームの光路中には、光透過性光学部材のみが配置されるものである。

【0017】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸を有するものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化リチウムからなる正レンズを有し、かつ少なくとも1つのフッ化カルシウムからなる負レンズを有するものである。

【0018】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、少なくとも1つのフッ化バリウムからなる負レンズを有し、かつ少なくとも1つのフッ化カルシウムからなる正レンズを有するものである。

【0019】

【発明の実施の形態】上述の構成の如き本発明によれば、投影光学系中の屈折光学部材として、200nm以下の露光エネルギービームに対して十分なる透過率を有するフッ化物の結晶を用いているため、投影光学系中の屈折光学部材の露光エネルギービームの吸収を実質上影

全幅の露光光を供給するものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記光源から前記基板へ至る光路のうちの一部の光路は外気から密封された密封空間を形成し、該密封空間には酸素濃度を低減させた気体が封入されているものである。

【0015】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記照明光学系は、反射鏡とフッ化物の結晶材料からなる屈折光学部材との少なくとも一方で構成されるものである。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、第1の分散 $dn1/d\lambda$ を有する第1のフッ化物の結晶材料と、第2の分散 $dn2/d\lambda$ を有する第2のフッ化物の結晶材料とを含み、以下の条件を満足するものである。

響がない程度に低減でき、露光エネルギービームの吸収による照射変動の発生を実質上無視することができる。

【0020】また、屈折光学部材として少なくとも2種類のフッ化物の結晶を用いているため、屈折光学部材を構成する材料が互いに異なる分散を持つことになり、色収差の補正を達成することが可能となる。また、上述の好ましい態様のように、屈折光学部材として用いられている少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種が螢石であるときには、螢石はフッ化物の中では比較的製造方法及び加工方法が確立している材料であるため、屈折光学部材を製造・加工することが容易であり、製造上の利点がある。

【0021】本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系中で露光エネルギービームが通過する全ての前記屈折光学部材の軸上厚の総和を $\Sigma D$ とし、前記螢石で構成される前記屈折光学部材の軸上厚の総和を $\Sigma Dc$ とすると、

$$(1) \quad 0.60 < \Sigma Dc / \Sigma D < 0.98$$

を満足するものである。

【0022】この条件(1)は、投影光学系中のフッ化物からなる屈折光学部材のうち螢石(フッ化カルシウム)の占める割合を規定する式である。上記条件(1)の下限を下回るときには、螢石に比べて製造・加工が困難な他のフッ化物の割合が増えすぎるため屈折光学部材の製造・加工が困難となる。また、上記条件(1)の上限を超える場合には、投影光学系の色収差補正を達成することが困難となる。

【0023】さて、上述の好ましい態様においては、前記投影光学系は少なくとも2つの螢石からなる正レンズを含むものである。フッ化物のうち螢石は比較的アッペ数の大きな(分散が小さい)材料であり、この螢石を正レンズに使用し、かつ螢石よりもアッペ数の小さいフッ化物を負レンズとして用いて組み合わせることにより、屈折光学部材で生じた色収差(主に軸上色収差)を補正

することが可能となる。さらに、2つ以上の正レンズを用いているため、大きな像側開口数を達成できる。これにより、微細なパターンをコントラスト良く基板上に転写することが可能となる。

【0024】また、上述の好ましい態様においては、投影光学系中の屈折光学部材を構成する少なくとも2種類以上のフッ化物のうちの1種は、フッ化バリウムである。フッ化バリウムは、フッ化物中で比較的アッペ数が小さく、他のアッペ数の大きなフッ化物と組み合わせることにより色収差補正を達成できる。このとき、投影光学系においては、少なくとも1つのフッ化バリウムの結晶材料からなる負レンズを含むことが好ましい。前述のように、フッ化バリウムはアッペ数が比較的小さいため、フッ化バリウムからなる負レンズを、例えばアッペ数の大きな螢石からなる正レンズと組み合わせ、屈折光学部材で生じた色収差（主に軸上色収差）を良好に補正することができる。

【0025】さて、上述のように、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記光源から前記基板へ至る光路のうちの一部の光路は外気から密封された密封空間を形成しており、該密封空間内には酸素濃度を低減させた気体（窒素等の不活性ガス）が封入されているものである。本発明においては、光源が酸素の吸収帯に近い波長を供給しているため、露光エネルギービームの光路中

$$(2) \quad 0.1 \times 10^6 < |(dn1/d\lambda) - (dn2/d\lambda)|$$

上記条件(2)は、投影光学系において良好なる色収差補正を達成するために規定されたものであり、条件

(2)の範囲を外れる場合には、色収差補正が不十分となるため好ましくない。

【0029】また、上述のように本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、フッ化カルシウム( $CaF_2$ )、フッ化バリウム( $BaF_2$ )、フッ化リチウム( $LiF$ )、フッ化マグネシウム( $MgF_2$ )、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド( $LiCaAlF_6$ )、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライド( $LiSrAlF_6$ )からなるグループから選択された少なくとも2種類の材料である。

【0030】上記のフッ化物結晶は、フッ化物のなかでは、光学素子加工・製造がしやすい材料であり、このグループから材料を選択することで投影光学系の製造、ひいては露光装置の製造が容易となる。また、上述の好ましい態様においては、投影光学系は、前記露光エネルギービームの光路中に配置された少なくとも1つの凹面鏡を含むものである。投影光学系は全体として正パワー（正屈折力）を有しており、そのベッツバル和は正となり、像面が負へ湾曲する傾向がある。凹面鏡は正パワーを有するにもかかわらず、そのベッツバル和は負であり、さらにそれ自体から色収差を発生させないという特性を有しているため、投影光学系の正パワーを担いつ

の気体の酸素濃度を低減させれば、エネルギーロスを少なくすることができる。

【0026】ここで、フッ化物結晶は僅かな水溶性を有しているものが多いため、フッ化物結晶からなる屈折光学部材を外気から密封された密封空間内に配置し、該密封空間内に水分濃度が極めて低い気体を封入することが好ましい。これは、特にフッ化リチウムからなる屈折光学部材に対して有効である。これにより、投影光学系の光学性能の経時安定性が良好になる。

【0027】また、上述のように、本発明にかかる露光装置の好ましい態様では、光源からの露光エネルギービームを投影原版へ導くための照明光学系は、反射鏡とフッ化物の結晶材料からなる屈折光学部材との少なくとも一方で構成されるものである。これにより、照明光学系においても、露光エネルギービームの吸収を低減させることが可能となる。

【0028】また、上述のように本発明の好ましい態様にかかる露光装置では、投影光学系中の屈折光学部材を構成する少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶材料は、第1の分散 $dn1/d\lambda$ を有する第1のフッ化物の結晶材料と、第2の分散 $dn2/d\lambda$ を有する第2のフッ化物の結晶材料とを含み、以下の条件を満足するものである。

つ、ベッツバル和の補正を可能にできる利点があり、屈折光学部材ではベッツバル和補正の負担が少なくなり、屈折光学部材の収差補正能力を色収差補正に振り向けることができる。このとき、凹面鏡自体から色収差が生じないため、屈折光学部材自体から発生する色収差（主に軸上色収差）を、2種類以上のフッ化物で補正すれば良い。

【0031】この構成（投影光学系が露光エネルギービームの光路中に配置された少なくとも1つの凹面鏡を含む構成）において、一つの好ましい態様にかかる投影光学系は、複数の屈折光学部材からなる正レンズ群と凹面鏡とを含む第1結像系、この第1結像系と像面との間に配置される光路折り曲げ鏡、及びこの光路折り曲げ鏡と像面との間に配置された複数の屈折光学部材を含む第2結像系を有するものである。このとき、物体からの露光エネルギービームは、正レンズ群、凹面鏡、光路折り曲げ鏡、及び第2結像系の順に通過して像面に達する。ここで、第1結像系は投影光学系の光軸に直交する面内において光軸を含まない位置に中間像を形成することが好ましく、第2結像系はこの中間像を縮小倍率のもとで像面に再結像させることが好ましい。

【0032】上記構成では、比較的に大きな開口数の光束が通過する縮小側に、屈折光学部材からなる第2結像系を配しているため、高い開口数であっても投影光学系を構成する光学部材（屈折光学部材、凹面鏡など）の物



理的干渉を避けることが可能となる。ここで、上記一つの好ましい態様にかかる投影光学系では、少なくとも第1結像系中の複数の屈折光学部材が2種類以上のフッ化物の結晶から構成されることが好ましい。このとき、分散 $dn/d\lambda$ の小さな材料を正レンズとして用い、かつ分散 $dn/d\lambda$ の大きな材料を負レンズとして用いることが好ましい。この構成により、屈折光学部材自体から生じる軸上色収差を補正することが可能となる。

【0033】なお、上記一つの好ましい態様にかかる投影光学系では、凹面鏡を適切な位置に配置しているため、倍率色収差の発生量は比較的少ない。しかしながら、さらに倍率色収差を補正するためには、第2結像系を構成する複数の屈折光学部材を少なくとも2種類以上のフッ化物の結晶から構成することが好ましい。このとき、分散 $dn/d\lambda$ の大きな材料を正レンズとして用い、かつ分散 $dn/d\lambda$ の小さな材料を負レンズとして用いることが好ましい。

【0034】また、上記構成（投影光学系が露光エネルギービームの光路中に配置された少なくとも1つの凹面鏡を含む構成）において、別の好ましい態様にかかる投影光学系は、複数の屈折光学部材からなる第1レンズ群、ビームスプリッタ、凹面鏡、及び複数の光学部材からなり正屈折力を有する第2レンズ群を有するものである。この構成では、物体からの露光エネルギービームは、第1レンズ群、ビームスプリッタ、凹面鏡、ビームスプリッタ、第2レンズ群の順に通過して像面に達する。

【0035】ここで、上記別の好ましい態様にかかる投影光学系では、少なくとも第2レンズ群を構成する複数の屈折光学部材が2種類以上のフッ化物結晶で構成されることが好ましい。このとき、第2レンズ群は、分散 $dn/d\lambda$ の小さな材料からなる正レンズと、分散 $dn/d\lambda$ の大きな材料からなる負レンズとを有することが好ましい。これにより、屈折光学部材から発生する軸上色収差を良好に補正することが可能となる。

【0036】また、上記別の好ましい態様にかかる投影光学系では、第1レンズ群を構成する複数の屈折光学部材が2種類以上のフッ化物結晶で構成されることが好ましい。このとき、第1レンズ群は、分散 $dn/d\lambda$ の大きな材料からなる正レンズと、分散 $dn/d\lambda$ の小さな材料からなる負レンズとを有することが好ましい。これにより、屈折光学部材から発生する倍率色収差を良好に補正することができる。

【0037】上述の如き一つの好ましい態様あるいは別の好ましい態様にかかる投影光学系では、屈折光学部材の屈折面及び凹面鏡の反射面の少なくとも何れか一方を非球面とすることが好ましい。これにより、投影光学系全体の大きさを小さくしても良好な収差補正を達成できる利点がある。また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系の前記露光エネルギービー

ムの光路中には、光透過性屈折部材のみが配置される。なお、光透過性部材とは、レンズや光透過性の平行平板などの屈折性光学部材や、光透過性の基材に設けられた透過型の回折性光学素子など指す。

【0038】また、本発明の露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸を有する。このように投影光学系を構成すれば、投影光学系を構成する光学部材を直筒の鏡筒で保持でき、投影光学系の製造・調整の容易性の向上や、更なる高精度化を達成することができる。さて、上述の如き本発明にかかる露光装置は、波長200nm以下の露光エネルギービームを供給する光源を準備する工程と；第1のフッ化物結晶から第1屈折光学素子を形成する工程と；該第1のフッ化物結晶とは異なる第2のフッ化物結晶から第2屈折光学素子を形成する工程と；前記光源からの露光エネルギービームの光路中に沿って前記第1及び第2屈折光学素子を配置する工程と；を含み、前述の機能を達成するように、電氣的、機械的または光学的に連結することで組み上げられる。

【0039】次に、図1～3を参照して本発明にかかる露光装置の第1の実施の形態について説明する。第1の実施の形態の露光装置は、露光光源としてエキシマレーザ光源を使用し、投影光学系として反射屈折系を使用するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は第1実施形態の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、露光制御装置1により発光状態が制御されたエキシマレーザ光源2から射出されたパルスレーザ光よりなる照明光IL（露光エネルギービーム）は、偏向ミラー3で偏向されて第1照明光学系4に達する。エキシマレーザ光源2として本例では、発振スペクトルの半値幅が10pm程度にされたArFエキシマレーザ（波長193nm）のレーザ光源が使用される。但し、露光用の光源としては、例えば発振スペクトルの半値幅が1pm未満に狭帯化されたArFエキシマレーザの狭帯化レーザ光源や、F<sub>2</sub>レーザ（波長157nm）光源を使用しても良く、波長200nm以下の露光エネルギービーム（露光光）を供給するものであれば、どのような光源でも使用できる。

【0040】第1照明光学系4には、ビームエキスパンダ、光量可変機構、照明光学系のコヒーレンスファクタ（所謂 $\sigma$ 値）を変更した場合に照明光の光量を切り換えるための照明切り換え機構、及びフライアイレンズ等が含まれている。そして、第1照明光学系4の射出面に照明光ILの面状に分布する2次光源が形成され、この2次光源の形成面に照明条件を種々に切り換えるための照明光学系開口絞り用の切り換えレボルバ5が配置されている。切り換えレボルバ5の側面には、通常の円形の開口絞り、光軸から偏心した複数の開口よりなる所謂変形照明用の開口絞り、輪帯状の開口絞り、及び小さい円形開口よりなる小さい $\sigma$ 値用の開口絞り等が形成され、切



り換え装置6を介して切り換え用レボルバ5を回転することによって、所望の照明光学系開口絞り(σ絞り)をその第1照明光学系4の射出面に配置できるようになっている。また、そのように照明光学系開口絞りを切り換えた場合には、切り換え装置6によって同期して、最も光量が大きくなるように第1照明光学系4内の照明切り換え機構が切り換えられる。

【0041】切り換え装置6の動作は、露光制御装置1によって制御され、露光制御装置1の動作は、装置全体の動作を統轄制御する主制御装置7によって制御されている。なお、第1実施形態では、オブティカルインテグレータとしてフライアイレンズを使用しているが、ロッド型インテグレータを用いても良い。この場合、ロッド型インテグレータの入射面近傍に2次光源が虚像として形成されるため、投影光学系の瞳での光源像の形状を切り替えるための機構は、ロッド型インテグレータの射出面をレチクル上へ結像させる光学系(本例では第3照明光学系に相当する)中において2次光源と共役となる面に設けることができる。また、ロッド型インテグレータの入射面へ入射させる光束の集光状態を変更する機構を設けても光源像の形状を変更することができる。

【0042】さて、切り換え用レボルバ5で設定された照明光学系開口絞りを透過した照明光ILは、透過率が大きく反射率の小さいビームスプリッタ8に入射し、ビームスプリッタ8で反射された照明光は、フォトダイオード等の光電検出器よりなるインテグレータセンサ9で受光される。このインテグレータセンサ9で照明光を光電変換して得られる検出信号が露光制御装置1に供給される。その検出信号とウエハ上での露光量との関係は予め計測して記憶されており、露光制御装置1では、その検出信号よりウエハ上での積算露光量をモニタする。また、その検出信号は、露光用の照明光ILを使用する各種センサ系の出力信号を規格化するのにも利用される。

【0043】ビームスプリッタ8を透過した照明光ILは、第2照明光学系10を介して照明視野絞り系(レチクルブラインド系)11を照明する。この照明視野絞り系11の配置面は、第1照明光学系4中のフライアイレンズの入射面と共役であり、フライアイレンズの各レンズエレメントの断面形状とほぼ相似の照明領域でその照明視野絞り系11が照明される。照明視野絞り系11は、可動ブラインドと固定ブラインドとに分かれており、固定ブラインドは固定された矩形の開口を有する視野絞りであり、可動ブラインドはレチクルの走査方向及び非走査方向に独立に動く開閉自在の2対の可動ブレードである。固定ブラインドでレチクル上の照明領域の形状の決定が行われ、可動ブラインドで走査露光の開始時及び終了時にその固定ブラインドの開口の覆いをそれぞれ徐々に開く動作、及び閉める動作が行われる。これによって、ウエハ上で本来の露光対象のショット領域以外の領域に照明光が照射されるのが防止される。

【0044】この照明視野絞り系11中の可動ブラインドの動作は、駆動装置12によって制御されており、ステージ制御装置13によって後述のようにレチクルとウエハとの同期走査を行う際に、ステージ制御装置13は、駆動装置12を介してその可動ブラインドを同期して駆動する。照明視野絞り系11を通過した照明光ILは、第3照明光学系14を経てレチクルRのパターン面(下面)の矩形の照明領域15を均一な照度分布で照明する。照明視野絞り系11の固定ブラインドの配置面は、レチクルRのパターン面と共役であり、照明領域15の形状はその固定ブラインドの開口によって規定されている。

【0045】以下では、レチクルRのパターン面に平行な面内で図1の紙面に垂直にX軸を、図1の紙面に平行にY軸を取り、レチクルRのパターン面に垂直にZ軸を取って説明する。このとき、レチクルR上の照明領域15は、X方向に長い矩形領域であり、走査露光時には、照明領域15に対してレチクルRが+Y方向、又は-Y方向に走査される。即ち、走査方向はY方向に設定されている。

【0046】レチクルR上の照明領域15内のパターンは、両側(又はウエハ側に片側)テレセントリックな投影光学系PLを介して投影倍率 $\beta$ ( $|\beta|$ は例えば $1/4$ ,  $1/5$ ,  $1/6$ 等)で縮小されて、フォトレジストが塗布されたウエハW上の露光領域16に結像投影される。レチクルRは、レチクルステージ17上に保持され、レチクルステージ17はレチクル支持台18上のY方向に伸びたガイド上にエアベアリングを介して載置されている。レチクルステージ17はリニアモータによってレチクル支持台18上をY方向に一定速度で走査できると共に、X方向、Y方向、及び回転方向( $\theta$ 方向)にレチクルRの位置を調整できる調整機構を備えている。レチクルステージ17の端部に固定された移動鏡19m、及び不図示のコラムに固定されたレーザ干渉計19によって、レチクルステージ17(レチクルR)のX方向、Y方向の位置が例えば常時 $0.001\mu\text{m}$ ( $1\text{nm}$ )程度の分解能で計測されると共に、レチクルステージ17の回転角も計測され、計測値がステージ制御装置13に供給され、ステージ制御装置13は供給された計測値に応じてレチクル支持台18上のリニアモータ等の動作を制御する。

【0047】一方、ウエハWはウエハホルダ20を介して試料台21上に保持され、試料台21はウエハステージ22上に載置され、ウエハステージ22は、定盤23上のガイド上にエアベアリングを介して載置されている。そして、ウエハステージ22は、定盤23上でリニアモータによってY方向に一定速度での走査、及びステッピング移動ができると共に、X方向へのステッピング移動ができるように構成されている。また、ウエハステージ22内には、試料台21をZ方向に所定範囲で移動

するZステージ機構、及び試料台21の傾斜角を調整するチルト機構（レベリング機構）が組み込まれている。

【0048】試料台21の側面部に固定された移動鏡24m、及び不図示のコラムに固定されたレーザ干渉計24によって、試料台21（ウエハW）のX方向、Y方向の位置が常時0.001 $\mu$ m程度の分解能で計測されると共に、試料台21の回転角及びチルト角も計測され、計測値がステージ制御装置13に供給され、ステージ制御装置13は供給された計測値に応じてウエハステージ22の駆動用のリニアモータ等の動作を制御する。

【0049】走査露光時には、主制御装置7からステージ制御装置13に露光開始のコマンドが送出され、これに応じてステージ制御装置13では、レチクルステージ17を介してレチクルRをY方向に速度VRで走査するのと同期して、ウエハステージ22を介してウエハWをY方向に速度VWで走査する。レチクルRからウエハWへの投影倍率 $\beta$ を用いて、ウエハWの走査速度VWは $\beta \cdot VR$ に設定される。また、投影光学系PLは外部のベース部材上に植設されたコラム25（図2参照）の中板上に保持されている。そして、投影光学系PLのX方向の側面部に、ウエハWの表面の複数の計測点に斜めにスリット像等を投影して、それら複数の計測点でのZ方向の位置（フォーカス位置）に対応する複数のフォーカス信号を出力する、斜入射方式の多点のオートフォーカスセンサ（以下、「AFセンサ」という）26が配置されている。多点のAFセンサ26からの複数のフォーカス信号は、フォーカス・チルト制御装置27に供給され、フォーカス・チルト制御装置27では、それら複数のフォーカス信号よりウエハWの表面のフォーカス位置及び傾斜角を求め、求めた結果をステージ制御装置13に供給する。

【0050】ステージ制御装置13では、供給されたフォーカス位置及び傾斜角が、それぞれ予め求められている投影光学系PLの結像面のフォーカス位置及び傾斜角に合致するように、ウエハステージ22内のZステージ機構、及びチルト機構をサーボ方式で駆動する。これによって、走査露光中においても、ウエハWの露光領域16内の表面はオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの結像面に合致するように制御される。

【0051】更に、投影光学系PLの+Y方向の側面にオフ・アクシス方式のアライメントセンサ28が固定されており、アライメント時にはアライメントセンサ28によってウエハWの各ショット領域に付設されたアライメント用のウエハマークの位置検出が行われ、検出信号がアライメント信号処理装置29に供給されている。アライメント信号処理装置29にはレーザ干渉計24の計測値も供給され、アライメント信号処理装置29では、その検出信号及びレーザ干渉計24の計測値より検出対象のウエハマークのステージ座標系（X，Y）での座標

を算出して、主制御装置7に供給する。ステージ座標系（X，Y）とは、レーザ干渉計24によって計測される試料台21のX座標及びY座標に基づいて定められる座標系を言う。主制御装置7では、供給されたウエハマークの座標より、ウエハW上の各ショット領域のステージ座標系（X，Y）での配列座標を求めてステージ制御装置13に供給し、ステージ制御装置13では供給された配列座標に基づいて各ショット領域に走査露光を行う際のウエハステージ22の位置を制御する。

【0052】また、試料台21上には基準マーク部材FMが固定され、基準マーク部材FMの表面にはアライメントセンサの位置基準となる種々の基準マーク、及びウエハWの反射率の基準となる基準反射面等が形成されている。そして、投影光学系PLの上端部に、ウエハW側から投影光学系PLを介して反射される光束等を検出する反射光検出系30が取り付けられ、反射光検出系30の検出信号が自己計測装置31に供給されている。主制御装置7の管理のもとで後述のように、自己計測装置31ではウエハWの反射量（反射率）のモニタ、照度むらの計測、及び空間像の計測等を行う。

【0053】次に、図2を参照して図1に示した第1実施形態の投影光学系PLの構成について詳細に説明する。図2は、投影光学系PLを示す断面図であり、この図2において、投影光学系PLは機構的には、第1鏡筒部41、光軸偏向部42、及び第2鏡筒部43の部分鏡筒より構成されている。そして、第1鏡筒部41内に凹面鏡M1が配置されている。

【0054】第1鏡筒部41は、複数の屈折光学部材（レンズ素子）L11～L17と凹面鏡M1とを含む第1結像系の各光学要素をレンズ枠を介して保持している。また、光軸偏向部42は、第1結像系と第2結像系との間に配置される光路折り曲げ鏡M2と、第2結像系中の光路折り曲げ鏡M3とを保持しており、これら光路折り曲げ鏡M2，M3の間に配置される屈折光学部材（レンズ素子）L20もレンズ枠を介して保持している。そして、第2鏡筒部43は、第2結像系中の複数の屈折光学部材L21～L29及び開口絞りASをレンズ枠を介して保持している。ここで、第1結像系は、光路折り曲げ鏡M2の近傍にやや縮小倍率のもとでレチクルR上の照明領域15の中間像を形成し、第2結像系は、該中間像を所定の縮小倍率のもとでウエハW上の露光領域16上に再結像させる。

【0055】本例では、第1鏡筒部41内の屈折光学部材L11～L16及び凹面鏡M1は光軸Ax1に沿って配列されており、光軸偏向部42内の屈折光学部材L20は、該光軸Ax1に対してほぼ直交する光軸Ax2に沿って配列されており、第2鏡筒部43内の屈折光学部材L21～L29は、光軸Ax1とほぼ平行な光軸Ax3に沿って配列されている。

【0056】このとき、光路折り曲げ鏡M2は、光軸偏

向部42内で光軸Ax1から+Y方向に偏心した位置に光軸Ax1に対して+Y方向にほぼ45°で傾斜した状態で配置されている。また、光路折り曲げ鏡M3は光軸偏向部42内で光軸Ax2及び光軸Ax3が交差する位置に光軸Ax2にほぼ45°で傾斜した状態で配置されている。

【0057】このように、第1実施形態では各屈折光学部材L11～L29及び凹面鏡は、互いに直交する光軸Ax1～Ax3上に配置されている。この場合、照明光ILによるレチクルR上の矩形の照明領域15は光軸Ax1から-Y方向に偏心した位置に設定され、照明領域15を通過した照明光（以下、「結像光束」と呼ぶ）は、第1鏡筒部41内のレンズL11, L12, …, L17を経て凹面鏡45に入射し、凹面鏡45で反射集光された結像光束は、再びレンズL17, L15, …, L13を経て光軸偏向部42内の光路折り曲げ鏡M2で+Y方向に偏向される。

【0058】その光軸偏向部42において、光路折り曲げ鏡M2で反射された結像光束は、レンズL20を介して光路折り曲げ鏡M3に入射する。光路折り曲げ鏡M3で-Z方向に偏向された結像光束は、第2鏡筒部43に向かい、第2鏡筒部43において、その結像光束は、レンズL21, L22, …, L28, L29を介してウエハW上の露光領域16に、レチクルR上の照明領域15内のパターンの縮小像を形成する。

【0059】第1実施形態では、第1鏡筒部41及び第2鏡筒部43は、露光装置のコラム25の上板にフランジ41a, 43aを介して支持されており、光軸偏向部42は、これら第1及び第2鏡筒部41, 43を接続するように設けられている。次に、図3を参照して、第1実施形態の投影露光装置の空調系につき説明する。本例の投影露光装置は全体として所定のチャンバ内に設置されているが、更にその投影露光装置は複数のユニットに分けられ、各ユニット別に独立に空調が行われている。このような空調システムを、以下では「ユニット別空調システム」と呼ぶ。

【0060】図3は第1実施形態のユニット別空調システムを示し、この図3において、図1の投影露光装置が照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、投影光学系ユニット113、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115に大きく分かれている。具体的に、照明光学系ユニット111は、箱状のケーシング内に図1のエキシマレーザ光源2、偏向ミラー3、第1照明光学系4、切り換えレボルバ5、ビームスプリッタ8、インテグレートセンサ9、第2照明光学系10、照明視野絞り系11、及び第3照明光学系14よりなる照明光学系を収納したものである。また、レチクルステージ系ユニット112は、箱状のケーシング内に図1のレチクル支持台18、レチクルステージ17（移動鏡19mを含む）、レチクルR、

レチクルRと第3照明光学系14との間の光路、及びレチクルRと投影光学系PLとの間の光路を収納したものである。

【0061】そして、投影光学系ユニット113は、図1の投影光学系PLそのものであるが、投影光学系PLの鏡筒をケーシングとみなして、このケーシング内のレンズ群の間の気体の流れを制御できるように構成されている。更に、ウエハステージ系ユニット114は、図1の定盤23上に設置された箱状のケーシング内にウエハステージ22、試料台21（移動鏡24m、基準マーク部材FMを含む）、ウエハホルダ20、ウエハW、及び投影光学系PLとウエハWとの間の空間部を収納したものであり、ウエハ搬送系ユニット115は、箱状のケーシング内に図1では省略されているウエハ搬送系を収納したものである。本例では、照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、投影光学系ユニット113、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115のそれぞれに対して、所定の気体の供給及び排気が独立に行えるようになっている。

【0062】そのための空調装置として、塵除去フィルタ及びオゾン除去フィルタを内蔵した第1空調装置116と、不図示の窒素ガスボンベより供給された窒素(N<sub>2</sub>)ガスを循環させる第2空調装置117とが備えられている。そして、第1空調装置116は、チャンバの外部から取り込んだ空気、及び配管118Bを介して戻される空気より塵除去フィルタを介して塵等を除去すると共に、オゾン除去フィルタを介してオゾンを除去して得られる空気の温度及び流量を調整し、調整後の空気を配管118Aを介して気体切り換え器120Aに供給する。一方、第2空調装置117は、配管119B及び133Bを介して戻される窒素ガスの内で、純度の高い部分の温度及び流量を調整して配管119A及び133Aを介して循環させると共に、純度の低い部分を配管136を介してチャンバが設置されているクリーンルームの外部の大気中に放出する。更に、第2空調装置117は、不足した窒素ガスを窒素ガスボンベより補う、即ち不足分についてバージを行うようにしている。

【0063】次に、気体切り換え器120Aでは供給された2種類の気体（オゾン除去後の空気、及び窒素ガス）の一方を配管121Aを介して空調風量制御器122Aに供給し、空調風量制御器122Aでは配管123Aを介して照明光学系ユニット111内部に気体を供給すると共に、配管124Aを介して空調風量制御器125Aにも気体を供給する。空調風量制御器122A, 125A（その他も同様）では、それぞれ供給された気体の温度及び流量（風量）の調整を行って吹き出す機能を有する。そして、空調風量制御器125Aでは配管126A及び127Aを介して、それぞれレチクルステージ系ユニット112内部及び空調風量制御器128Aに気

体を供給する。更に、空調風量制御器128Aでは配管129Aを介してウエハ搬送系ユニット115内部に気体を供給すると共に、配管130A、空調風量制御器131A、及び配管132Aを介してウエハステージ系ユニット114内部にも気体を供給する。

【0064】また、ウエハ搬送系ユニット115内部を循環した気体は配管129Bを介して空調風量制御器128Bに排気され、ウエハステージ系ユニット114内部を循環した気体は配管132B、空調風量制御器131B、及び配管130Bを介して空調風量制御器128Bに排気され、空調風量制御器128Bから排気される気体、及びレチクルステージ系ユニット112内部を循環した気体は、それぞれ配管127B及び126Bを介して空調風量制御器125Bに排気される。同様に、空調風量制御器125Bから排気される気体、及び照明光学系ユニット111内部を循環した気体はそれぞれ配管124B及び123Bを介して空調風量制御器122Bに排気され、空調風量制御器122Bから排気される気体は配管121Bを介して気体切り換え器120Bに供給され、気体切り換え器120Bでは供給された気体が空気であるときには配管118Bを介して第1空調装置116に戻ると共に、供給された気体が窒素ガスであるときには配管119Bを介して第2空調装置117に戻るように構成されている。従って、照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115には共通に、オゾン除去した空気か又は窒素ガスの何れかが選択的に供給できるようになっている。

【0065】また、第2空調装置117では、配管133A、空調風量制御器134A及び配管135Aを介して、投影光学系ユニット113に対して温度及び流量が制御された窒素ガスを供給し、投影光学系ユニット113内を循環した窒素ガスが配管135B、空調風量制御器134B、及び配管133Bを介して第2空調装置117に戻されるように構成されている。従って、投影光学系ユニット113には、他のユニットとは異なり、常時窒素ガスのみが供給されるようになっている。これは、投影光学系PLは特にメンテナンスを行う必要がないためである。即ち、投影光学系ユニット113は外部に対して高い気密性を保つように構成され、常時窒素ガスが供給されるようになっている。

【0066】また、空調風量制御器134A及び134B中にはそれぞれ温度センサ、及び窒素ガスの純度を計測する純度センサが設置されており、計測される純度が所定の許容値以下となったときには、第2空調装置117において純度の低い窒素ガスが配管136を介して外部に排出されて、不足分が窒素ガスボンベより補給される。

【0067】第1実施形態では、露光光源としてArFエキシマレーザ、又はF<sub>2</sub>レーザ等のレーザ光源2が使

用されている。例えば、ArFエキシマレーザ光は、通常の空気の成分中では、オゾン(O<sub>3</sub>)による吸収率が最も高く、次いで酸素(O<sub>2</sub>)がオゾンに変化する際の吸収率が高くなっており、窒素ガスの吸収率は殆ど無視できる程度である。そのため、露光用の照明光ILの光路上には、気体を流すとすれば窒素ガスを流すことによって、最も効率的に(高い透過率で)ウエハWへの露光を行うことができる。

【0068】そこで、通常の露光シーケンスでは、図3の気体切り換え器120Aでは、第2空調装置117からの窒素ガスを配管121Aに供給する。これによって、照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115には共通に窒素ガスが供給されて、ウエハには高い照明効率で転写露光が行われる。

【0069】一方、メンテナンス時又は試験的に露光を行うような場合には、投影光学系ユニット113以外のユニットは作業者によってケーシングが開かれる可能性があるため、安全上の見地より窒素ガスを供給することはできない。そのため、メンテナンス時等には、図3の気体切り換え器120Aでは、第1空調装置116からのオゾン除去後の空気を配管121Aに供給する。これによって、照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115には共通にその空気が供給されて、作業者は安全に作業を行うことができる。しかも、投影光学系ユニット113以外のユニットに供給されている気体はオゾン除去後の空気であり、露光用の照明光ILに対する吸収率は低いため、照明効率の低下も僅かである。

【0070】また、図3において、照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、ウエハステージ系ユニット114、及びウエハ搬送系ユニット115の内部の排気口の近傍にそれぞれ窒素ガス用の濃度センサ137A～137Dが設置され、濃度センサ137A～137Dの検出結果が図1の主制御装置7に供給されている。主制御装置7では、メンテナンス時等にこれらのユニットに供給する気体をオゾン除去後の空気に切り換えた際には、濃度センサ137A～137Dで検出される窒素濃度が通常の空気の濃度程度になるまで、作業開始可の表示を行わないか、又はチャンバのカバーを閉じた状態でロックしておく。これによって安全に作業が行われる。

【0071】なお、それ以外に、主制御装置7にタイマを接続しておき、主制御装置7では、メンテナンス時等にこれらのユニットに供給する気体をオゾン除去後の空気に切り換えた際には、そのタイマを用いて所定の時間経過後に作業開始可の表示等を行うようにしてもよい。また、露光用の照明光の光路上の気体の種類によって吸

収率が異なるので、主制御装置7には、それぞれの気体に対するウェハの表面上での照度がパラメータとして記憶され、気体の種類の切り換え時にパラメータの変換が行われるようになっている。

【0072】更に、図3の例では例えば照明光学系ユニット111、レチクルステージ系ユニット112、ウェハステージ系ユニット114、及びウェハ搬送系ユニット115に対して並列に気体が供給されているが、それらのユニットの全部、又は一部を配管で直列に接続し、接続されたユニットに直列に選択された気体を供給するようにしてもよい。これによって、配管の配列が簡略化される。

【0073】また、オゾン除去後の空気は取り込まれた空気（外気）をオゾン除去フィルタにかけるのみで得られるが、窒素ガスは連続的に使用する際には窒素ガスボンベの交換を行う必要があり、且つ露光時とメンテナンス時等で部分的に空気との入れ換えを行う必要がある。そこで、ウェハ上に塗布されるフォトリソの必要露光量が大きい（感度が低い）場合には、スループットを高めるために照明光学系ユニット111～ウェハ搬送系ユニット115に対して窒素ガスを流して照明光の吸収率を低くする一方、フォトリソの必要露光量が小さい（感度が高い）場合には、吸収による光量低下があっても殆どスループットに影響しないため、オゾン除去後の空気を流すようにしてもよい。このように感光条件によって使用する気体の使い分けを行うことによって、スループット及び運転コストを全体として最適化できる。

【0074】また、後者のようにフォトリソの必要露光量が小さい場合には、オゾン除去後の空気の代わりに、外部から取り込まれた空気（大気）そのものを使用してもよい。更に、窒素ガスの代わりに、ArFエキシマレーザ光、又はF2レーザ光に対する吸収率の低い他の気体（例えばヘリウムのような不活性ガス等）を使用してもよい。

【0075】次に、図4を参照して、本発明にかかる露光装置の第2の実施の形態について説明する。図4は、第2実施形態の投影露光装置の概略構成を示す図である。図4において、図1と同様にXYZ座標系を採用している。なお、図1～3に示した第1実施形態と同様の機能を有する部材には同じ符号を付してある。

【0076】第2の実施の形態の露光装置は、露光光源としてF2レーザ光源を使用し、投影光学系として屈折型光学系を使用する投影露光装置に本発明を適用したものである。第2実施形態の投影露光装置では、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第1列目の領域への露光が行われる。その後、そのレチクルを交換するか、又はそのレチクルを上記照明領域の第1の方向と直交する第2の方向に沿って

所定量だけ移動させて、基板を照明領域の第2の方向と共役な方向に横ずれさせる。そして、再びレチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第2列目の領域への露光を行う。このように第2実施形態の露光装置は、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる、スティッチング及びスリットスキャン型の露光装置である。なお、このようなスティッチング及びスリットスキャン型の露光装置は、米国特許第5,477,304号公報、特開平8-330220号公報、特開平10-284408号公報などに開示されている。

【0077】図4において、レーザ光源2は、例えば発振波長157nmのフッ素ダイマーレーザ（F2レーザ）からなる。このF2レーザは、自然発振で1.5pm程度と十分に狭い半値全幅を有する。そして、自然発振のスペクトル分布から1つのスペクトルを選択することにより、1pm程度の半値全幅を有するスペクトルを得ることができる。

【0078】なお、第2実施形態におけるレーザ光源2としては、波長約120nm～約180nmの真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長146nmのクリプトンダイマーレーザ（Kr2レーザ）や、発振波長126nmのアルゴンダイマーレーザ（Ar2レーザ）などを用いることができる。さて、レーザ光源2からのパルスレーザ光（照明光）は、偏向ミラー3にて偏向されて、光路遅延光学系41へ向かい、レーザ光源2からの照明光の時間的可干渉距離（コヒーレンス長）以上の光路長差が付けられた時間的に複数の光束に分割される。なお、このような光路遅延光学系は例えば特開平1-198759号公報に開示されている。

【0079】光路遅延光学系41から射出される照明光は、光路偏向ミラー42にて偏向された後に、第1フライアイレンズ43、ズームレンズ44、振動ミラー45を順に介して第2フライアイレンズ46に達する。第2フライアイレンズ46の射出側には、有効光源のサイズ・形状を所望に設定するための照明光学系開口絞り用の切り替えレボルバ5が配置されている。本例では、照明光学系開口絞りでの光量損失を低減させるために、ズームレンズ44による第2フライアイレンズ46への光束の大きさを可変としている。

【0080】照明光学系開口絞りの開口から射出した光束は、コンデンサレンズ群10を介して照明視野絞り（レチクルブラインド）11を照明する。照明視野絞り10からの光は、偏向ミラー151,154、レンズ群152,153,155からなる照明視野絞り結像光学系（レチクルブラインド結像系）を介してレチクルR上へ導かれ、レチクルR上には、照明視野絞り10の開口部の像である照明領域が形成される。レチクルR上の照明領域からの光は、複数種類のフッ化物結晶からなる材

料で構成された投影光学系P Lを介してウエハW上へ導かれ、ウエハW上には、レチクルRの照明領域内のパターンの縮小像が形成される。

【0081】さて、真空紫外域の波長の光を露光光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長帯域の光に対し強い吸収特性を有するガス（以下、適宜「吸収性ガス」と呼ぶ）を排除する必要がある。従って、第2実施形態では、照明光路（レーザ光源2～レチクルRへ至る光路）及び投影光路（レチクルR～ウエハWへ至る光路）を外部雰囲気から遮断し、それらの光路を真空紫外域の光に対する吸収の少ない特性を有する特定ガスとしての窒素、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトンなどのガス、またはそれらの混合ガス（以下、適宜「低吸収性ガス」あるいは「特定ガス」と呼ぶ）で満たしている。

【0082】具体的には、レーザ光源2から光遅延光学系41までの光路をケーシング30により外部雰囲気より遮断し、光遅延光学系41から照明視野絞り11までの光路をケーシング40により外部雰囲気より遮断し、照明視野絞り結像光学系をケーシング150により外部雰囲気から遮断し、それらの光路内に上記特定ガスを充填している。また、投影光学系P L自体もその鏡筒がケーシングとなっており、その内部光路に上記特定ガスを充填している。

【0083】ケーシング170は、照明視野絞り結像光学系を納めたケーシング150と投影光学系P Lとの間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部にレチクルRを保持するレチクルステージR Sを収納している。このケーシング170には、レチクルRを搬入・搬出するための扉173が設けられており、この扉173の外側には、レチクルRを搬入・搬出時にケーシング170内の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室174が設けられている。このガス置換室174にも扉177が設けられており、複数種のレチクルを保管しているレチクルストック210との間でレチクルの受け渡しは扉177を介して行う。

【0084】ケーシング200は、投影光学系P LとウエハWとの間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部に、ウエハWを保持するウエハステージ22、基板としてのウエハWの表面のZ方向の位置（フォーカス位置）や傾斜角を検出するための斜入射形式のオートフォーカスセンサ26、オフ・アクシス方式のアライメントセンサ28、ウエハステージ22を載置している定盤23を収納している。このケーシング200には、ウエハWを搬入・搬出するための扉203が設けられており、この扉203の外側にはケーシング200内部の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室204が設けられている。このガス置換室204には扉207が設けられており、装置内部へのウエハWの搬入、装置外部へのウエハWの搬出はこの扉207を介して行う。

【0085】ここで、ケーシング40、150、170、200のそれぞれには、給気弁147、156、171、201が設けられており、これらの給気弁147、156、171、201は図示なきガス供給装置に接続された給気管路に接続されている。また、ケーシング40、150、170、200のそれぞれには、排気弁148、157、172、202が設けられており、これらの排気弁148、157、172、202は、それぞれ図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。なお、ガス供給装置からの特定ガスは不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。

【0086】同様に、ガス置換室174、204にも給気弁175、205と排気弁176、206とが設けられており、給気弁175、205は給気管路を介して、排気弁176、206は排気管路を介してそれぞれ上記ガス供給装置に接続されている。さらに、投影光学系P Lの共同にも給気弁181及び排気弁182が設けられており、給気弁181は図示なき給気管路を介して、排気弁182は図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

【0087】なお、給気弁147、156、171、175、181、201、205が設けられた給気管路と、排気弁148、157、172、176、182、202、206が設けられた排気管路とは、HEPAフィルタあるいはULPAフィルタ等の塵（パーティクル）を除去するためのフィルタと、酸素等の吸収性ガスを除去するケミカルフィルタとが設けられている。

【0088】なお、ガス置換室174、204においては、レチクル交換又はウエハ交換毎にガス置換を行う必要がある。例えば、レチクル交換の際には、扉174を開いてレチクルストック210からレチクルをガス置換室174内に搬入し、扉174を閉めてガス置換室174内を特定ガスで満たし、その後、扉173を開いて、レチクルをレチクルステージR S上に載置する。また、ウエハ交換の際には、扉207を開いてウエハをガス置換室204内に搬入し、この扉207を締めてガス置換室204内を特定ガスで満たす。その後、扉203を開いてウエハをウエハホルダ20上に載置する。なお、レチクル搬出、ウエハ搬出の場合はこの逆の手順である。なお、ガス置換室174、204へのガス置換の際には、ガス置換室内の雰囲気を減圧した後に、給気弁から特定ガスを供給しても良い。

【0089】また、ケーシング170、200においては、ガス置換室174、204によるガス置換を行った気体が混入する可能性があり、このガス置換室174、204のガス中にはかなりの量の酸素などの吸収ガスが混入している可能性が高いため、ガス置換室174、204のガス置換と同じタイミングでガス置換を行うことが望ましい。また、ケーシング及びガス置換室において



は、外部雰囲気（大気）の圧力よりも高い圧力の特定ガスを充填しておくことが好ましい。

#### 【0090】

【実施例】次に、本発明にかかる露光装置の投影光学系の数値実施例につき図面を参照して説明する。ここで、第1実施例～第3実施例は、上記図1～3に示した第1実施形態の投影光学系に適したものであり、第4及び第5実施例は、上記図4に示した第2実施形態の投影光学系に適したものである。

【0091】[第1実施例] 図5は、第1実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。第1実施例にかかる投影光学系PLは、波長 $\lambda = 193.40 \text{ nm} \pm 0.01 \text{ nm}$  ( $\pm 10 \text{ pm}$ ) の波長幅の露光エネルギービームに最適化されたものである。

【0092】図5において、投影光学系PLは、凹面鏡M1を含み、レチクルRの中間像を形成する第1結像系PLaと、この中間像を所定の縮小倍率のもとでウエハW上に再結像させる第2結像系PLbと、第1結像系PLaと第2結像系PLbとの間に配置された光路折り曲げミラーM2とを備えている。なお、図5の例では、光路折り曲げミラーは1つであるが、図2に示したように、第2結像系PLb中に光路折り曲げミラーを設けても良い。

【0093】第1結像系PLaは、最もレチクルR側に配置される第1群G1と、第2群G2と、凹面鏡M1とを有しており、レチクルRを経由した照明光学系からの露光エネルギービームが、第1群G1、第2群G2を順に通過して凹面鏡M1に達し、凹面鏡で反射された露光エネルギービームが第2群を通過した後に光路折り曲げミラーM2へ向かうように、各群及び凹面鏡が位置決めされている。

【0094】第1群G1は、レチクルR側から順に、両凸レンズL11、レチクル側に凸面を向けたメニスカスレンズL12、凹面鏡M1側に凹面を向けたメニスカス負レンズL13、及び凹面鏡M1側に凹面を向けた略平凹形状の負レンズL14とを有する。第2群G2は、凹面鏡M1から遠い側から順に（第1群G1側から順に）、第1群G1側に凸面を向けたメニスカス正レンズL15と、両凸レンズL16と、両凹レンズL17と、第1群G1側に凸面を向けたメニスカス正レンズL18と、第1群G1側に凹面を向けたメニスカス負レンズL19とを有している。

【0095】第2結像系は、光路折り曲げミラーM2側（中間像形成位置側）から順に、両凸レンズL20、両凸レンズL21、中間像形成位置側に凹面を向けたメニ

スカス負レンズL22、中間像形成位置側に凸面を向けたメニスカス正レンズL23、開口絞りAS、中間像形成位置側に凸面を向けた2つのメニスカス正レンズL24、L25、中間像形成位置側に凹面を向けたメニスカス負レンズL26、中間像形成位置側に凸面を向けたメニスカス正レンズL27、中間像形成位置側に凹面を向けたメニスカス負レンズL28、及び両凸レンズL29を有している。

【0096】第1実施例にかかる投影光学系では、第1結像系PLa中の両凹レンズL17がフッ化バリウム ( $\text{BaF}_2$ ) で形成されており、該両凹レンズL17以外の屈折光学素子は、フッ化カルシウム（螢石、 $\text{CaF}_2$ ) で形成されている。また、第1実施例にかかる投影光学系では、第1結像系PLa中のメニスカス負レンズL19の凹面鏡M1側のレンズ面、第2結像系PLb中のメニスカス正レンズL24の中間像形成位置側のレンズ面、及び第2結像系PLb中のメニスカス正レンズL25のウエハW側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。なお、さらなる高性能化、小型化を図るために非球面形状のレンズ面を増やしても良く、凹面鏡M1の反射面も回転対称非球面形状に形成しても良い。

【0097】以下の表2に第1実施例にかかる投影光学系PLのレンズデータを掲げる。表2において、左端には各光学面（レンズ面、反射面）の面番号を示し、rは各光学面の曲率半径、dは各光学面間の面間隔を示し、rの列に各光学面の曲率半径を表し、dの列に各面間隔を表している。また、表2中、d0は物体面（レチクル面）から最もレチクル側の光学面までの距離、WDは最もウエハ側の光学面からウエハ面（像面）までの距離、 $\beta$ はレチクル側から投影光学系へ光が入射するときの投影光学系の横倍率、NAはウエハ側の開口数をそれぞれ表している。なお、表2において、曲率半径rの符号は光線の進行方向に向けて凸となる場合を正とし、面間隔dは反射面の前後で符号が反転するものとしている。

【0098】また、フッ化カルシウム（螢石） $\text{CaF}_2$ 及びフッ化バリウム $\text{BaF}_2$ の露光エネルギービームの波長 $\lambda$ に対する屈折率 $n(\lambda)$ 、1 pm当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は以下の表1の通りである。なお、以下において、1 pm当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ の値が正であるとは、波長 $\lambda$ が長くなるにつれて屈折率 $n$ も上昇することを意味し、この分散 $dn/d\lambda$ の値が負であるとは、波長 $\lambda$ が長くなると屈折率 $n$ が低下することを意味する。

#### 【0099】

【表1】

|                | $n(193.41 \text{ nm})$ | $n(193.40 \text{ nm})$ | $n(193.39 \text{ nm})$ | $dn/d\lambda$         |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| $\text{CaF}_2$ | 1.501255               | 1.501265               | 1.501275               | $-1 \times 10^{-6}$   |
| $\text{BaF}_2$ | 1.569269               | 1.569285               | 1.569301               | $-1.6 \times 10^{-6}$ |

また、表2において面番号に※を付した光学面は非球面を表し、表2では非球面についての曲率半径は頂点曲率

半径を示している。この非球面形状は、非球面頂点での接平面を考え、該接平面上で光軸が通過する位置を原



点、光線の進行方向を正としたとき接平面上での高さ  $y$  の位置における非球面の光軸方向の変位を非球面頂点を基準として  $z(y)$  とするとき、以下の式 (a) で表さ

れる。

【0100】

【数1】

$$(a) \quad z(y) = \frac{\frac{y^2}{r}}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) \frac{y^2}{r^2}}} + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14} + G y^{16} + H y^{18}$$

【0101】ただし、(a) 式において、 $r$  は頂点曲率半径、 $\kappa$  は円錐係数、 $A, B, C, D, E, F, G, H$  はそれぞれ非球面係数を示している。本実施例では、表3に円錐係数  $\kappa$ 、非球面係数  $A, B, C, D$  を非球面デ

ータとして示した。

【0102】

【表2】

d0 = 84.572625

WD = 16.000000

| $\beta$ | = 1/4

NA = 0.60

| 面番号  | r            | d           | 材料      |       |
|------|--------------|-------------|---------|-------|
| 1:   | 871.16824    | 27.000000   | 蛍石      | L 1 1 |
| 2:   | -380.20201   | 1.000000    |         |       |
| 3:   | 224.26749    | 25.000000   | 蛍石      | L 1 2 |
| 4:   | 258.64591    | 15.740207   |         |       |
| 5:   | 1940.07786   | 20.000000   | 蛍石      | L 1 3 |
| 6:   | 387.03193    | 17.466259   |         |       |
| 7:   | -36301.92312 | 22.948015   | 蛍石      | L 1 4 |
| 8:   | 517.35208    | 349.972078  |         |       |
| 9:   | 352.71528    | 45.000000   | 蛍石      | L 1 5 |
| 10:  | 13713.82681  | 271.046061  |         |       |
| 11:  | 410.96935    | 40.000000   | 蛍石      | L 1 6 |
| 12:  | -1038.81277  | 10.252945   |         |       |
| 13:  | -428.47645   | 20.000000   | フッ化バリウム | L 1 7 |
| 14:  | 206.04444    | 1.000000    |         |       |
| 15:  | 210.50640    | 40.000000   | 蛍石      | L 1 8 |
| 16:  | 2181.36614   | 35.003163   |         |       |
| 17:  | -223.34109   | 25.000000   | 蛍石      | L 1 9 |
| *18: | -12905.57320 | 20.674820   |         |       |
| 19:  | -375.59609   | -20.674820  |         | M 1   |
| *20: | -12905.57320 | -25.000000  | 蛍石      | L 1 9 |
| 21:  | -223.34109   | -35.003163  |         |       |
| 22:  | 2181.36614   | -40.000000  | 蛍石      | L 1 8 |
| 23:  | 210.50640    | -1.000000   |         |       |
| 24:  | 206.04444    | -20.000000  | フッ化バリウム | L 1 7 |
| 25:  | -428.47645   | -10.252945  |         |       |
| 26:  | -1038.81277  | -40.000000  | 蛍石      | L 1 6 |
| 27:  | 410.96935    | -271.046061 |         |       |
| 28:  | 13713.82681  | -45.000000  | 蛍石      | L 1 5 |
| 29:  | 352.71528    | -288.378273 |         |       |
| 30:  | $\infty$     | 219.962086  |         | M 2   |
| 31:  | 676.35050    | 24.000000   | 蛍石      | L 2 0 |
| 32:  | -874.40286   | 369.722215  |         |       |
| 33:  | 1254.34163   | 28.000000   | 蛍石      | L 2 1 |

|           |             |            |    |       |
|-----------|-------------|------------|----|-------|
| 34:       | -976.80660  | 14.522645  |    |       |
| 35:       | -412.59450  | 22.000000  | 蛍石 | L 2 2 |
| 36:       | -621.46447  | 311.589802 |    |       |
| 37:       | 586.39212   | 30.000000  | 蛍石 | L 2 3 |
| 38:       | 3646.08543  | 77.860846  |    |       |
| 39:       | $\infty$    | 76.973258  |    | A S   |
| *40:      | 258.44076   | 40.426938  | 蛍石 | L 2 4 |
| 41:       | 1223.19093  | 0.200000   |    |       |
| 42:       | 302.72739   | 45.000000  | 蛍石 | L 2 5 |
| *43:      | 5772.33218  | 15.976633  |    |       |
| 44:       | -1486.32264 | 25.000000  | 蛍石 | L 2 6 |
| 45:       | -3965.41128 | 15.769952  |    |       |
| 46:       | 252.90031   |            |    |       |
| 55.697827 | 蛍石          | L 2 7      |    |       |
| 47:       | 951.03836   | 19.992659  |    |       |
| 48:       | 152.49590   | 47.403052  | 蛍石 | L 2 8 |
| 49:       | 88.34801    | 8.850248   |    |       |
| 50:       | 106.89426   | 66.198893  | 蛍石 | L 2 9 |
| 51:       | -1279.55924 | 1.000000   |    |       |
| 52:       | $\infty$    | 6.000000   | 蛍石 | P     |
| 53:       | $\infty$    | (WD)       |    |       |

以下の表3に、表2中の非球面形状の光学面の非球面データを示す。

#### 【0103】

##### 【表3】

〔第18面（第20面）の非球面データ〕

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = -0.292039 \times 10^{-08} \quad B = -0.412188 \times 10^{-13}$$

$$C = 0.125546 \times 10^{-17} \quad D = -0.558880 \times 10^{-22}$$

〔第40面の非球面データ〕

$$\kappa = -0.792468$$

$$A = -0.163748 \times 10^{-08} \quad B = -0.374334 \times 10^{-13}$$

$$C = -0.261430 \times 10^{-18} \quad D = -0.575093 \times 10^{-22}$$

〔第43面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = 0.539237 \times 10^{-08} \quad B = -0.731731 \times 10^{-13}$$

$$C = -0.182744 \times 10^{-17} \quad D = 0.132937 \times 10^{-22}$$

図6に、第1実施例にかかる投影光学系のウエハW上での横収差図を示す。ここで、図6(a)は像高Y=1.8におけるメリジオナル方向の横収差図、図6(b)は像高Y=1.6におけるメリジオナル方向の横収差図、図6(c)は像高Y=1.4におけるメリジオナル方向の横収差図、図6(d)は像高Y=1.8におけるサジタル方向の横収差図、図6(e)は像高Y=1.6におけるサジタル方向の横収差図、図6(f)は像高Y=1.4におけるサジタル方向の横収差図である。また、図6(a)～図6(f)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=193.40\text{nm}$ による収差曲線、破線は波長 $\lambda=193.41\text{nm}$ による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=193.39\text{nm}$ による収差曲線を表している。

【0104】各収差図からも明らかな通り、第1実施例にかかる投影光学系は、良好な収差補正がなされ、特に $\pm 10\text{pm}$ の波長幅の露光エネルギービームに対する色収差が良好に補正されている。また、第1実施例の投影光学系では、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており、 $200\text{nm}$ 以下の波長のもとでも照射変動を起こし難い利点がある。従って、第1実施例の投影光学系を露光装置に組み込むことにより、狭帯化が不完全な光源であっても極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。

【第2実施例】図7は、第2実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。第2実施例にかかる投影光学系PLは、波長 $\lambda=193.40\text{nm} \pm 0.01\text{nm}$  ( $\pm 10\text{pm}$ )の波長幅の露光エネルギービームに最適化されたものである。

【0105】図7に示す投影光学系PLは、図5の第1実施例の投影光学系とは異なり中間像を形成しない。図7において、第2実施例の投影光学系は、正屈折力を有する第1群G1、ビームスプリッタBS、凹面鏡M1を含む第2群G2、及び正屈折力の第3群G3とを有している。なお、図7に示す投影光学系PLは光路折り曲げミラーを有していないが、レチクルRとウエハWとの配置を互いに平行にするために、第1群G1中に光路折り曲げミラーを設けても良い。また、ビームスプリッタとしては、振幅分割を行うものハーフミラー（ハーフプリズム）や偏光分離を行う偏光ビームスプリッタなどを適用できる。なお、偏光ビームスプリッタを用いる場合には、少なくともビームスプリッタBSと凹面鏡M1との間の光路中は $1/4$ 波長板を設けることが好ましく、ビ

ームスプリッタBSとウエハWとの間の光路中にも1/4波長板を設けることがさらに好ましい。

【0106】図7の第2実施例にかかる投影光学系では、レチクルRを経由した照明光学系からの露光エネルギービームが第1群G1、ビームスプリッタBS、凹面鏡M1を含む第2群G2、ビームスプリッタBS、及び第3群G3の順に通過してウエハW（像面）に達するように、各光学部材が位置決めされている。なお、図7の例では、第1群G1から凹面鏡M1（第2群G2）へ向かう露光エネルギービームを透過し、かつ凹面鏡M1

（第2群G2）から第3群G3へ向かう露光エネルギービームを反射するようにビームスプリッタBSが配置されている。しかしながら、第1群G1から凹面鏡M1（第2群G2）へ向かう露光エネルギービームを反射し、かつ凹面鏡M1（第2群G2）から第3群G3へ向かう露光エネルギービームを透過するようにビームスプリッタBSを配置することも可能である。

【0107】図7において、第1群G1は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凹面を向けた正メニスカスレンズL11、両凸レンズL12、両凹レンズL13、両凹レンズL14、レチクルR側に凹面を向けた2枚の正メニスカスレンズL15、L16を備えている。第2群G2は、凹面鏡M1、及び該凹面鏡M1とビームスプリッタBS側との間に配置されてビームスプリッタBS側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21を備えている。

【0108】第3群G3は、ビームスプリッタBS側から順に、ビームスプリッタBS側に凸面を向けた正メニスカスレンズL31、両凹レンズL32、及びビームスプリッタBS側に凸面を向けた2枚の正メニスカスレンズL33、L34を備えている。第2実施例にかかる投影光学系では、第1群G1中の両凹レンズL13及び第3群G3中の両凹レンズL32がフッ化バリウム（BaF2）で形成されており、これらの両凹レンズL13、L32以外の屈折光学素子（レンズ及びビームスプリッタ）は、フッ化カルシウム（螢石、CaF2）で形成されている。

【0109】なお、第2実施例において、フッ化物結晶からなるキューブ型のビームスプリッタBSにおける結晶の歪みの影響を低減するために、結晶の（111）面を光束に対して垂直となるように構成することが好ましい。具体的には、キューブ型のビームスプリッタBSの第1群G1側の入射面（ビームスプリッタBSの凹面鏡M1側の入射/射出面）が螢石の結晶の（111）面に

平行になるようにするか、キューブ型のビームスプリッタBSの第3群G3側の射出面が螢石の結晶の（111）面に平行になるようにすることが好ましい。これによって、キューブ型のビームスプリッタBSを通過する露光エネルギービームが（111）面に垂直になるため、螢石の歪の影響が低減される。なお、第2実施例では、ビームスプリッタBSを通過する光束のうち、光路変換面（半透過面、偏光分離面）を透過する光束が結晶材料の（111）面とほぼ垂直になるようにビームスプリッタBSを構成することが好ましい。これは、ビームスプリッタBSを通過する光路長を考えると、光路変換面（半透過面、偏光分離面）を透過する光束の方が光路変換面にて反射される光束よりも長く、より歪みの影響を受けやすいからである。

【0110】また、第2実施例にかかる投影光学系では、第1群G1においては、両凹レンズL13のビームスプリッタBS側のレンズ面、両凹レンズL14のビームスプリッタ側のレンズ面、及び正メニスカスレンズL15のレチクル側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。第2群G2においては、凹面鏡M1の反射面及び負メニスカスレンズL21のビームスプリッタBS側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。そして、第3群G3においては、両凹レンズL32のビームスプリッタ側のレンズ面、正メニスカスレンズL33のビームスプリッタBS側のレンズ面、及び正メニスカスレンズL34のウエハW側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。なお、さらなる高性能化、小型化を図るために非球面形状のレンズ面を増やしても良い。また、凹面鏡M1の反射面は、製造を容易にするために球面形状に形成しても良い。

【0111】以下の表4に第2実施例にかかる投影光学系PLのレンズデータを掲げる。表4における各光学諸元r、d、d0、WD、 $\beta$ 、NAの表記は、表2の第1実施例と同様の表記であるため、ここでは説明を省略する。また、フッ化カルシウム（螢石）CaF2及びフッ化バリウムBaF2の露光エネルギービームの波長 $\lambda$ に対する屈折率n( $\lambda$ )、分散dn/d $\lambda$ は上記表1の通りである。

【0112】また、表4において面番号に※を付した光学面は非球面を表し、この非球面形状は、上記式(a)で表される。

【0113】

【表4】

|           |   |              |           |     |
|-----------|---|--------------|-----------|-----|
| d0        | = | 179.836818   |           |     |
| WD        | = | 10.000001    |           |     |
| $ \beta $ | = | 1/4          |           |     |
| NA        | = | 0.60         |           |     |
| 面番号       |   | r            | d         | 材料  |
| 1:        |   | -10250.79431 | 30.000000 | 螢石  |
|           |   |              |           | L11 |

|      |             |             |         |         |
|------|-------------|-------------|---------|---------|
| 2:   | -717.04267  | 2.438719    |         |         |
| 3:   | 383.49011   | 51.000000   | フッ化バリウム | L 1 2   |
| 4:   | -285.17312  | 1.469515    |         |         |
| 5:   | -280.61345  | 18.000000   | 蛍石      | L 1 3   |
| *6:  | 355.18016   | 268.889080  |         |         |
| 7:   | -2851.14242 | 20.000000   | 蛍石      | L 1 4   |
| *8:  | 511.82390   | 272.939367  |         |         |
| *9:  | -869.71671  | 65.000000   | 蛍石      | L 1 5   |
| 10:  | -327.57872  | 1.173164    |         |         |
| 11:  | -1190.29881 | 40.000000   | 蛍石      | L 1 6   |
| 12:  | -642.56168  | 1.000000    |         |         |
| 13:  | $\infty$    | 320.000000  | 蛍石      | B S     |
| 14:  | $\infty$    | 40.965577   |         |         |
| *15: | -347.83226  | 20.000000   | 蛍石      | L 2 1   |
| 16:  | -800.36628  | 20.432301   |         |         |
| *17: | -638.57219  | -20.432301  |         | M 1     |
| 18:  | -800.36628  | -20.000000  | 蛍石      | L 2 1   |
| *19: | -347.83226  | -40.965577  |         |         |
| 20:  | $\infty$    | -160.000000 | 蛍石      | B S     |
| 21:  | $\infty$    | 160.000000  | 蛍石      | (方向変換面) |
| 22:  | $\infty$    | 1.000000    |         |         |
| 23:  | 250.00239   | 37.000000   | 蛍石      | L 3 1   |
| 24:  | 1835.59656  | 6.000000    |         |         |
| *25: | -5396.89224 | 15.000000   | フッ化バリウム | L 3 2   |
| 26:  | 1137.05237  | 1.000000    |         |         |
| *27: | 268.20043   | 30.000000   | 蛍石      | L 3 3   |
| 28:  | 2667.15845  | 1.000000    |         |         |
| 29:  | 170.52979   | 120.218554  | 蛍石      | L 3 4   |
| *30: | 1480.11693  | 10.000001   |         |         |

以下の表5に、表4中の非球面形状の光学面の非球面データに示す。

【0114】

【表5】

【第6面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= 0.254955 \\ A &= 0.288011 \times 10^{-08} \quad B = 0.197315 \times 10^{-13} \\ C &= 0.306816 \times 10^{-17} \quad D = 0.000000 \times 10^{+00} \end{aligned}$$

【第8面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= -0.112951 \\ A &= -0.865512 \times 10^{-10} \quad B = -0.671998 \times 10^{-15} \\ C &= -0.670423 \times 10^{-18} \quad D = 0.000000 \times 10^{+00} \end{aligned}$$

【第9面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= -0.925654 \\ A &= -0.454939 \times 10^{-09} \quad B = -0.445290 \times 10^{-14} \\ C &= -0.376839 \times 10^{-19} \quad D = 0.000000 \times 10^{+00} \end{aligned}$$

【第15面(第19面)の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= 0.053630 \\ A &= 0.869858 \times 10^{-09} \quad B = 0.240907 \times 10^{-14} \\ C &= 0.229343 \times 10^{-18} \quad D = 0.101423 \times 10^{-23} \end{aligned}$$

【第17面(反射面)の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= -0.111428 \\ A &= 0.354531 \times 10^{-09} \quad B = 0.376023 \times 10^{-15} \\ C &= 0.715525 \times 10^{-19} \quad D = 0.000000 \times 10^{+00} \end{aligned}$$

【第25面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= 172.768780 \\ A &= -0.381884 \times 10^{-09} \quad B = -0.859147 \times 10^{-13} \\ C &= 0.345931 \times 10^{-17} \quad D = -0.628469 \times 10^{-22} \end{aligned}$$

【第27面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= 0.129701 \\ A &= 0.353753 \times 10^{-08} \quad B = 0.154211 \times 10^{-12} \\ C &= 0.412201 \times 10^{-18} \quad D = -0.583718 \times 10^{-22} \end{aligned}$$

【第30面の非球面データ】

$$\begin{aligned} \kappa &= 2095.961373 \\ A &= 0.173519 \times 10^{-06} \quad B = -0.405184 \times 10^{-09} \\ C &= 0.475715 \times 10^{-12} \quad D = -0.314679 \times 10^{-15} \end{aligned}$$

図8に、第2実施例にかかる投影光学系のウエハW上での横収差図を示す。ここで、図8(a)は像高Y=18におけるメリジオナル方向の横収差図、図8(b)は像高Y=16におけるメリジオナル方向の横収差図、図8(c)は像高Y=14におけるメリジオナル方向の横収差図、図8(d)は像高Y=18におけるサジタル方向

の横収差図、図8(e)は像高 $Y=16$ におけるサジタル方向の横収差図、図8(f)は像高 $Y=14$ におけるサジタル方向の横収差図である。また、図8(a)～図8(f)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=193.40\text{nm}$ による収差曲線、破線は波長 $\lambda=193.41\text{nm}$ による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=193.39\text{nm}$ による収差曲線を表している。

【0115】各収差図からも明らかな通り、第2実施例にかかる投影光学系は、良好な収差補正がなされ、特に $\pm 10\text{pm}$ の波長幅の露光エネルギービームに対する色収差が良好に補正されている。また、第2実施例の投影光学系では、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており、 $200\text{nm}$ 以下の波長のもとでも照射変動を起し難い利点がある。従って、第2実施例の投影光学系を露光装置に組み込むことにより、狭帯化が不完全な光源であっても極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。

【0116】[第3実施例] 図9は、第3実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。第3実施例にかかる投影光学系PLは、波長 $\lambda=193.40\text{nm} \pm 0.01\text{nm}$  ( $\pm 10\text{pm}$ )の波長幅の露光エネルギービームに最適化されたものである。図9において、第3実施例にかかる投影光学系PLは、第1実施例と同様に第1結像系PLaと第2結像系PLbと光路折り曲げミラーM2とを備えている。なお、図9の例においても第2結像系PLb中にさらなる光路折り曲げミラーを設けても良い。

【0117】第3実施例の第1結像系PLaは、第1実施例と同様に、最もレチクルR側に配置される第1群G1と、第2群G2と、凹面鏡M1とを有しており、レチクルRを経由した照明光学系からの露光エネルギービームが、第1群G1、第2群G2を順に通過して凹面鏡M1に達し、凹面鏡で反射された露光エネルギービームが第2群を通過した後光路折り曲げミラーM2へ向かうように、各群及び凹面鏡が位置決めされている。

【0118】第3実施例において、第1群G1は、レチクルR側から順に、両凸レンズL11、レチクル側に凸面を向けたメニスカスレンズL12、両凹レンズL13、及び凹面鏡M1側に凹面を向けたメニスカス負レンズL14を有する。第2群G2は、凹面鏡M1から遠い側から順に(第1群G1側から順に)、両凸レンズL15と、凹面鏡M1側に凹面を向けたメニスカス負レンズ

L16と、両凸レンズL17と、両凹レンズL18と、第1群G1側に凹面を向けたメニスカス負レンズL19とを有している。

【0119】第2結像系は、光路折り曲げミラーM2側(中間像形成位置側)から順に、両凸レンズL20、両凸レンズL21、中間像形成位置側に凹面を向けたメニスカス負レンズL22、中間像形成位置側に凸面を向けたメニスカス正レンズL23、開口絞りAS、中間像形成位置側に凸面を向けたメニスカス正レンズL24、両凸レンズL25、両凹レンズL26、中間像形成位置側に凸面を向けたメニスカス正レンズL27、中間像形成位置側に凹面を向けたメニスカス負レンズL28、及び両凸レンズL29を有している。

【0120】第3実施例にかかる投影光学系では、第1結像系PLa中の両凸レンズL17及び第2結像系PLb中の両凹レンズL26がフッ化リチウム(LiF)で形成されており、これら両凸レンズL17及び両凹レンズL26以外の屈折光学素子は、フッ化カルシウム(螢石、 $\text{CaF}_2$ )で形成されている。また、第3実施例にかかる投影光学系では、第1結像系PLa中のメニスカス負レンズL19の凹面鏡M1側のレンズ面、第2結像系PLb中のメニスカス正レンズL24の中間像形成位置側のレンズ面、及び第2結像系PLb中のメニスカス正レンズL25のウエハW側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。なお、さらなる高性能化、小型化を図るために非球面形状のレンズ面を増やしても良く、凹面鏡M1の反射面も回転対称非球面形状に形成しても良い。

【0121】以下の表7に第3実施例にかかる投影光学系PLのレンズデータを掲げる。表7における各光学諸元 $r$ 、 $d$ 、 $d_0$ 、 $WD$ 、 $\beta$ 、 $NA$ の表記は、表2の第1実施例と同様の表記であるため、ここでは説明を省略する。また、表7において面番号に※を付した光学面は非球面を表し、この非球面形状は、上記式(a)で表される。

【0122】また、フッ化リチウムLiFの露光エネルギービームの波長 $\lambda$ に対する屈折率 $n(\lambda)$ 、波長 $1\text{pm}$ 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は以下の表6の通りである。

【0123】

【表6】

|     | $n(193.41\text{nm})$ | $n(193.40\text{nm})$ | $n(193.39\text{nm})$ | $dn/d\lambda$          |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| LiF | 1.441811             | 1.441817             | 1.441824             | $-0.65 \times 10^{-6}$ |

【0124】

|           |             |
|-----------|-------------|
| $d_0$     | = 94.886386 |
| $WD$      | = 16.000000 |
| $ \beta $ | = $1/4$     |
| $NA$      | = 0.60      |
| 面番号       | $r$         |

【表7】

|     |    |
|-----|----|
| $d$ | 材料 |
|-----|----|

|      |             |             |         |       |
|------|-------------|-------------|---------|-------|
| 1:   | 650.97957   | 27.000000   | 蛍石      | L 1 1 |
| 2:   | -347.82508  | 1.000000    |         |       |
| 3:   | 215.02562   | 25.000000   | 蛍石      | L 1 2 |
| 4:   | 267.11861   | 16.241393   |         |       |
| 5:   | -1191.93512 | 20.000000   | 蛍石      | L 1 3 |
| 6:   | 376.62657   | 16.421979   |         |       |
| 7:   | 2423.98207  | 19.469031   | 蛍石      | L 1 4 |
| 8:   | 481.45386   | 340.747306  |         |       |
| 9:   | 543.50711   | 45.000000   | 蛍石      | L 1 5 |
| 10:  | -4414.45734 | 293.563955  |         |       |
| 11:  | 555.10097   | 20.000000   | 蛍石      | L 1 6 |
| 12:  | 320.88231   | 7.000000    |         |       |
| 13:  | 366.76657   | 47.000000   | フッ化リチウム | L 1 7 |
| 14:  | -566.13830  | 6.046749    |         |       |
| 15:  | -414.83076  | 20.000000   | 蛍石      | L 1 8 |
| 16:  | 2344.01933  | 100.862326  |         |       |
| 17:  | -242.79738  | 25.000000   | 蛍石      | L 1 9 |
| *18: | -8238.60039 | 25.961796   |         |       |
| 19:  | -397.44578  | -25.961796  | M 1     |       |
| *20: | -8238.60039 | -25.000000  | 蛍石      | L 1 9 |
| 21:  | -242.79738  | -100.862326 |         |       |
| 22:  | 2344.01933  | -20.000000  | 蛍石      | L 1 8 |
| 23:  | -414.83076  | -6.046749   |         |       |
| 24:  | -566.13830  | -47.000000  | フッ化リチウム | L 1 7 |
| 25:  | 366.76657   | -7.000000   |         |       |
| 26:  | 320.88231   | -20.000000  | 蛍石      | L 1 6 |
| 27:  | 555.10097   | -293.563955 |         |       |
| 28:  | -4414.45734 | -45.000000  | 蛍石      | L 1 5 |
| 29:  | 543.50711   | -288.623356 |         |       |
| 30:  | ∞           | 210.68423   | M 2     |       |
| 31:  | 764.66537   | 24.000000   | 蛍石      | L 2 0 |
| 32:  | -1086.13236 | 344.326892  |         |       |
| 33:  | 752.57340   | 28.000000   | 蛍石      | L 2 1 |
| 34:  | -847.85250  | 12.261977   |         |       |
| 35:  | -411.95512  | 22.000000   | 蛍石      | L 2 2 |
| 36:  | -911.01214  | 292.015674  |         |       |
| 37:  | 536.03324   | 30.000000   | 蛍石      | L 2 3 |
| 38:  | 2371.38066  | 193.698930  |         |       |
| 39:  | ∞           | 70.000000   | A S     |       |
| *40: | 257.70928   | 40.426938   | 蛍石      | L 2 4 |
| 41:  | 695.08658   | 0.200000    |         |       |
| 42:  | 260.63720   | 48.000000   | 蛍石      | L 2 5 |
| *43: | -2292.01101 | 16.503311   |         |       |
| 44:  | -1115.57682 | 25.000000   | フッ化リチウム | L 2 6 |
| 45:  | 3092.66092  | 15.075726   |         |       |
| 46:  | 234.20418   | 52.919955   | 蛍石      | L 2 7 |
| 47:  | 1020.54167  | 19.298313   |         |       |
| 48:  | 161.80016   | 47.293104   | 蛍石      | L 2 8 |
| 49:  | 98.97930    | 7.175193    |         |       |
| 50:  | 125.35073   | 65.602116   | 蛍石      | L 2 9 |

|     |            |          |    |   |
|-----|------------|----------|----|---|
| 51: | -965.45665 | 1.000000 |    |   |
| 52: | $\infty$   | 6.000000 | 蛍石 | P |
| 53: | $\infty$   | (WD)     |    |   |

以下の表8に、表7中の非球面形状の光学面の非球面データを示す。

【0125】

【表8】

【第18面（第20面）の非球面データ】

$\kappa = 0.000000$

$A = -0.268228 \times 10^{-08}$      $B = 0.958987 \times 10^{-14}$

$C = -0.586009 \times 10^{-19}$      $D = -0.117463 \times 10^{-23}$

【第40面の非球面データ】

$\kappa = -0.806915$

$A = -0.182595 \times 10^{-08}$      $B = -0.330691 \times 10^{-13}$

$C = -0.682492 \times 10^{-18}$      $D = -0.150418 \times 10^{-22}$

【第43面の非球面データ】

$\kappa = 0.000000$

$A = 0.480787 \times 10^{-08}$      $B = -0.934126 \times 10^{-13}$

$C = 0.711029 \times 10^{-18}$      $D = 0.185034 \times 10^{-22}$

図10に、第3実施例にかかる投影光学系のウエハW上での横収差図を示す。ここで、図10(a)は像高 $Y = 18$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図10

(b)は像高 $Y = 16$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図10(c)は像高 $Y = 14$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図10(d)は像高 $Y = 18$ におけるサジタル方向の横収差図、図10(e)は像高 $Y = 16$ におけるサジタル方向の横収差図、図10(f)は像高 $Y = 14$ におけるサジタル方向の横収差図である。また、図10(a)～図10(f)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda = 193.40 \text{ nm}$ による収差曲線、破線は波長 $\lambda = 193.41 \text{ nm}$ による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda = 193.39 \text{ nm}$ による収差曲線を表している。

【0126】各収差図からも明らかな通り、第3実施例にかかる投影光学系は、良好な収差補正がなされ、特に $\pm 10 \text{ pm}$ の波長幅の露光エネルギービームに対する色収差が良好に補正されている。また、第3実施例の投影光学系では、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており、 $200 \text{ nm}$ 以下の波長のもとでも照射変動を起こし難い利点がある。従って、第1実施例の投影光学系を露光装置に組み込むことにより、狭帯化が不完全な光源であっても極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。

【0127】【第4実施例】図11(a)は、第4実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。第4実施例にかかる投影光学系PLは、波長 $\lambda = 157.624 \text{ nm} \pm 0.5 \text{ pm}$  ( $\pm 0.0005 \text{ nm}$ )の波長幅の露光エネルギービームに最適化されたものである。

【0128】図11(a)において、第4実施例の投影光学系PLは、直線状に延びた光軸Axに沿って配置さ

れた複数枚のレンズ素子からなる。そして、第4実施例の投影光学系は、レチクルR側より順に、両凹レンズL11、3枚の両凸レンズL12、L13、L14、ウエハW側に凹面を向けた2枚の負メニスカスレンズL15、L16、両凹レンズL17、レチクルR側に凹面を向けた負メニスカスレンズL18、レチクルR側に凹面を向けた正メニスカスレンズL19、3枚の両凸レンズL20、L21、L22、ウエハW側に凹面を向けた負メニスカスレンズL23、2枚の両凹レンズL24、L25、2枚の両凸レンズL26、L27、両凹レンズL28、開口絞りAS、両凸レンズL29、レチクルR側に凹面を向けた負メニスカスレンズL30、両凸レンズL31、両凹レンズL32、両凸レンズL33、ウエハW側に凹面を向けた2枚の正メニスカスレンズL34、L35、ウエハW側に凹面を向けた負メニスカスレンズL36、及びウエハW側の凹面を向けた正メニスカスレンズL37を有する。

【0129】ここで、第4実施例にかかる投影光学系では、正レンズL21、L26、L27、L29、L31、L33がフッ化リチウム(LiF)で形成されており、これらの正レンズL21、L26、L27、L29、L31、L33以外のレンズ(屈折光学素子)は、フッ化カルシウム(蛍石、CaF<sub>2</sub>)で形成されている。また、第4実施例にかかる投影光学系では、負レンズL11のウエハW側のレンズ面、正レンズL13のレチクルR側のレンズ面、負レンズL15のウエハW側のレンズ面、負レンズL16のウエハW側のレンズ面、負レンズL23のウエハW側の側面、負レンズL24のレチクルR側のレンズ面、負レンズL25のウエハW側のレンズ面、及び負レンズL30のレチクルR側のレンズ面、正レンズL35のウエハW側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。なお、さらなる高性能化、小型化を図るために非球面形状のレンズ面を増やしても良い。

【0130】図11(b)は、第4及び第5実施例にかかる投影光学系のイメージサークルICと露光領域IEとの関係を示す平面図である。図11(b)に示すように、第4及び第5実施例の投影光学系は、直径 $16.4 \text{ mm}$ のイメージサークルICを有し、そのイメージサークルIC内に、走査方向(Y方向)の幅 $6.5 \text{ mm}$ 、走査直交方向(X方向)の幅 $15 \text{ mm}$ の長方形の露光領域IEを確保している。なお、第4及び第5実施例では、長方形の露光領域としたが、露光領域IEの形状としては、イメージサークルICに含まれる領域であれば、六角形状、等脚台形状、不等脚台形状、菱形形状、正方形形状、円弧形状など様々な形状とすることができる。



【0131】以下の表10に第4実施例にかかる投影光学系PLのレンズデータを掲げる。表10における各光学諸元 $r$ 、 $d$ 、 $d_0$ 、 $WD$ 、 $\beta$ 、 $NA$ の表記は、表2の第1実施例と同様の表記であるため、ここでは説明を省略する。また、フッ化カルシウム（螢石） $CaF_2$ 及びフッ化リチウム $LiF$ の露光エネルギービームの波長 $\lambda$

に対する屈折率 $n(\lambda)$ 、波長1 $\mu m$ 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は以下の表9の通りである。

【0132】

【表9】

|         | $n(157.6245nm)$ | $n(157.624nm)$ | $n(157.6235nm)$ | $dn/d\lambda$         |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| $CaF_2$ | 1.5592368       | 1.559238       | 1.5592392       | $-2.4 \times 10^{-6}$ |
| $LiF$   | 1.4858992       | 1.485900       | 1.4859008       | $-1.6 \times 10^{-6}$ |

また、表10において面番号に※を付した光学面は非球面を表し、この非球面形状は、上記式（a）で表される。

【0133】

【表10】

$$d_0 = 55.0134$$

$$WD = 13.6725$$

$$|\beta| = 1/4$$

$$NA = 0.75$$

| 面番号  | 曲率半径 $r$ (mm) | 面間隔 $d$ (mm) | 材料      |       |
|------|---------------|--------------|---------|-------|
| 1:   | -95.68120     | 12.1641      | 螢石      | L 1 1 |
| *2:  | 173.25208     | 22.6963      |         |       |
| 3:   | 3267.49862    | 36.4883      | 螢石      | L 1 2 |
| 4:   | -125.92446    | 1.0079       |         |       |
| *5:  | 349.17880     | 34.1054      | 螢石      | L 1 3 |
| 6:   | -167.00762    | 1.0000       |         |       |
| 7:   | 168.52097     | 34.6434      | 螢石      | L 1 4 |
| 8:   | -524.21727    | 1.0908       |         |       |
| 9:   | 132.45374     | 27.5236      | 螢石      | L 1 5 |
| *10: | 64.16275      | 20.7110      |         |       |
| 11:  | 1452.10031    | 12.9460      | 螢石      | L 1 6 |
| *12: | 78.82527      | 21.3753      |         |       |
| 13:  | -182.42797    | 12.1500      | 螢石      | L 1 7 |
| 14:  | 177.47117     | 18.1356      |         |       |
| 15:  | -125.62480    | 22.1279      | 螢石      | L 1 8 |
| 16:  | -457.24838    | 1.4207       |         |       |
| *17: | -597.81461    | 33.2038      | 螢石      | L 1 9 |
| 18:  | -125.46324    | 1.0000       |         |       |
| 19:  | 8309.27276    | 29.0754      | 螢石      | L 2 0 |
| 20:  | -202.66426    | 1.0000       |         |       |
| 21:  | 363.77205     | 33.7749      | フッ化リチウム | L 2 1 |
| 22:  | -277.11941    | 1.1938       |         |       |
| 23:  | 480.33249     | 22.5424      | 螢石      | L 2 2 |
| 24:  | -585.72897    | 1.2902       |         |       |
| 25:  | 224.18301     | 29.2532      | 螢石      | L 2 3 |
| *26: | 121.00176     | 17.0007      |         |       |
| *27: | -2572.61582   | 12.7356      | 螢石      | L 2 4 |
| 28:  | 91.67295      | 31.1501      |         |       |
| 29:  | -116.20584    | 18.7618      | 螢石      | L 2 5 |
| *30: | 291.88952     | 2.4395       |         |       |
| 31:  | 373.66307     | 31.7541      | フッ化リチウム | L 2 6 |
| 32:  | -149.30453    | 2.1638       |         |       |
| *33: | 218.03538     | 42.6153      | フッ化リチウム | L 2 7 |

|      |            |         |         |       |
|------|------------|---------|---------|-------|
| 34:  | -137.56852 | 4.4336  |         |       |
| 35:  | -144.61706 | 20.0000 | 螢石      | L 2 8 |
| 36:  | 658.12705  | 5.0000  |         |       |
| 37:  | $\infty$   | 5.0000  |         | AS    |
| 38:  | 301.50853  | 42.5810 | フッ化リチウム | L 2 9 |
| 39:  | -150.32227 | 3.3936  |         |       |
| *40: | -135.39762 | 12.0000 | 螢石      | L 3 0 |
| 41:  | -313.24923 | 1.0000  |         |       |
| 42:  | 221.91051  | 41.2552 | フッ化リチウム | L 3 1 |
| 43:  | -205.87410 | 1.7016  |         |       |
| 44:  | -196.09660 | 20.0000 | 螢石      | L 3 2 |
| 45:  | 356.77528  | 1.0000  |         |       |
| 46:  | 170.21571  | 35.1606 | フッ化リチウム | L 3 3 |
| 47:  | -896.09753 | 1.0000  |         |       |
| 48:  | 86.85349   | 32.8922 | 螢石      | L 3 4 |
| 49:  | 228.35708  | 1.0408  |         |       |
| 50:  | 82.89042   | 26.1671 | 螢石      | L 3 5 |
| *51: | 594.96633  | 2.2109  |         |       |
| 52:  | 563.74043  | 13.0000 | 螢石      | L 3 6 |
| 53:  | 81.77976   | 2.0045  |         |       |
| 54:  | 90.62440   | 17.9449 | 螢石      | L 3 7 |
| 55:  | 153.17398  | (WD)    |         |       |

以下の表11に、表10中の非球面形状の光学面の非球面データを示す。

【0134】

【表11】

〔第2面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -2.06101 \times 10^{-07} \quad B = 1.00406 \times 10^{-11}$$

$$C = 3.26543 \times 10^{-15} \quad D = -1.24906 \times 10^{-18}$$

$$E = 1.77233 \times 10^{-22} \quad F = -1.20316 \times 10^{-26}$$

〔第5面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -1.20987 \times 10^{-07} \quad B = -5.72817 \times 10^{-12}$$

$$C = 1.48225 \times 10^{-15} \quad D = -1.04507 \times 10^{-19}$$

$$E = 1.30629 \times 10^{-24} \quad F = 1.10384 \times 10^{-28}$$

〔第10面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = 8.46920 \times 10^{-08} \quad B = -1.04493 \times 10^{-10}$$

$$C = -3.32058 \times 10^{-14} \quad D = -5.30752 \times 10^{-18}$$

$$E = 4.45062 \times 10^{-23} \quad F = -4.95104 \times 10^{-26}$$

〔第12面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -2.74928 \times 10^{-07} \quad B = 1.92175 \times 10^{-10}$$

$$C = 4.48364 \times 10^{-14} \quad D = 3.23238 \times 10^{-18}$$

$$E = 1.73078 \times 10^{-21} \quad F = 4.25241 \times 10^{-25}$$

〔第17面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -5.98724 \times 10^{-08} \quad B = 1.37628 \times 10^{-11}$$

$$C = 1.45110 \times 10^{-15} \quad D = -2.32803 \times 10^{-19}$$

$$E = 5.15684 \times 10^{-23} \quad F = -5.58296 \times 10^{-27}$$

〔第26面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -6.13777 \times 10^{-08} \quad B = -1.21896 \times 10^{-11}$$

$$C = 1.22783 \times 10^{-15} \quad D = -5.72693 \times 10^{-19}$$

$$E = -4.77527 \times 10^{-23} \quad F = 2.75975 \times 10^{-27}$$

〔第27面の非球面データ〕

$$\kappa = -2.26316 \times 10^{-03}$$

$$A = -6.41287 \times 10^{-08} \quad B = 9.39860 \times 10^{-12}$$

$$C = 1.19937 \times 10^{-15} \quad D = -1.82871 \times 10^{-18}$$

$$E = 2.99109 \times 10^{-22} \quad F = -2.16040 \times 10^{-26}$$

〔第30面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -1.68914 \times 10^{-08} \quad B = 1.19350 \times 10^{-11}$$

$$C = -2.75541 \times 10^{-15} \quad D = 1.34646 \times 10^{-19}$$

$$E = 4.71385 \times 10^{-23} \quad F = -5.94448 \times 10^{-27}$$

〔第33面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = 9.36074 \times 10^{-10} \quad B = -4.28253 \times 10^{-13}$$

$$C = -7.46527 \times 10^{-16} \quad D = -1.53426 \times 10^{-21} \quad E = 6.74747 \times 10^{-24}$$

$$F = -7.35655 \times 10^{-28}$$

〔第40面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -8.45070 \times 10^{-09} \quad B = 1.41195 \times 10^{-12}$$

$$C = 1.50504 \times 10^{-16} \quad D = 1.26991 \times 10^{-20}$$

$$E = -4.37500 \times 10^{-25} \quad F = 1.31886 \times 10^{-29}$$

〔第51面の非球面データ〕

$$\kappa = 0.00000$$

$$\begin{aligned} A &= 3.58298 \times 10^{-07} & B &= -2.39947 \times 10^{-11} \\ C &= -1.91987 \times 10^{-15} & D &= 8.16510 \times 10^{-19} \\ E &= -1.44401 \times 10^{-22} & F &= 4.59232 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

図12に、第4実施例にかかる投影光学系のウエハW上での横収差図を示す。ここで、図12(a)は像高 $Y=8.2\text{mm}$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図12(b)は像高 $Y=4.1\text{mm}$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図12(c)は像高 $Y=0\text{mm}$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図12(d)は像高 $Y=8.2\text{mm}$ におけるサジタル方向の横収差図、図12(e)は像高 $Y=4.1\text{mm}$ におけるサジタル方向の横収差図、図12(f)は像高 $Y=0\text{mm}$ におけるサジタル方向の横収差図である。また、図12(a)～図12(f)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}$ による収差曲線、破線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}+0.5\text{pm}$ による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}-0.5\text{pm}$ による収差曲線を表している。

【0135】各収差図からも明らかな通り、第4実施例にかかる投影光学系は、良好な収差補正がなされ、特に $\pm 0.5\text{pm}$ の波長幅の露光エネルギービームに対する色収差が良好に補正されている。また、第4実施例の投影光学系では、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており、 $160\text{nm}$ 以下の波長のもとでも照射変動を起こし難い利点がある。従って、第4実施例の投影光学系を露光装置に組み込むことにより、極めて微細なパターンを安定してウエハ上に転写することが可能となる。

【0136】[第5実施例] 図13は、第5実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。第5実施例にかかる投影光学系PLは、波長 $\lambda=157.624\text{nm} \pm 0.5\text{pm}$  ( $\pm 0.0005\text{nm}$ )の波長幅の露光エネルギービームに最適化されたものである。

【0137】図13において、第5実施例の投影光学系PLは、直線状に延びた光軸Axに沿って配置された複数枚のレンズ素子からなる。そして、第5実施例の投影光学系は、レチクルR側より順に、両凹レンズL11、3枚の両凸レンズL12、L13、L14、ウエハW側に凹面を向けた2枚の負メニスカスレンズL15、L16、両凹レンズL17、レチクルR側に凹面を向けた負メニスカスレンズL18、レチクルR側に凹面を向けた

正メニスカスレンズL19、3枚の両凸レンズL20、L21、L22、ウエハW側に凹面を向けた負メニスカスレンズL23、2枚の両凹レンズL24、L25、2枚の両凸レンズL26、L27、両凹レンズL28、開口絞りAS、両凸レンズL29、レチクルR側に凹面を向けた負メニスカスレンズL30、両凸レンズL31、両凹レンズL32、両凸レンズL33、ウエハW側に凹面を向けた2枚の正メニスカスレンズL34、L35、ウエハW側に凹面を向けた負メニスカスレンズL36、及びウエハW側に凹面を向けた正メニスカスレンズL37を有する。

【0138】ここで、第5実施例にかかる投影光学系では、負レンズL24、L25、L28、L30、L32、L36がフッ化バリウム(BaF2)で形成されており、これらの負レンズL24、L25、L28、L30、L32、L36以外のレンズ(屈折光学素子)は、フッ化カルシウム(螢石、CaF2)で形成されている。

【0139】また、第5実施例にかかる投影光学系では、負レンズL11のウエハW側のレンズ面、正レンズL13のレチクルR側のレンズ面、負レンズL15のウエハW側のレンズ面、負レンズL16のウエハW側のレンズ面、正レンズL19のレチクルR側のレンズ面、負レンズL23のウエハW側のレンズ面、負レンズL24のレチクルR側のレンズ面、負レンズL25のウエハW側のレンズ面、正レンズL27のレチクルR側のレンズ面、負レンズL30のレチクルR側のレンズ面、及び正レンズL35のウエハW側のレンズ面が回転対称非球面形状に形成されている。なお、さらなる高性能化、小型化を図るために非球面形状のレンズ面を増やしても良い。

【0140】以下の表13に第5実施例にかかる投影光学系PLのレンズデータを掲げる。表13における各光学諸元 $r$ 、 $d$ 、 $d_0$ 、 $WD$ 、 $\beta$ 、 $NA$ の表記は、表2の第1実施例と同様の表記であるため、ここでは説明を省略する。また、フッ化バリウムBaF2の露光エネルギービームの波長 $\lambda$ に対する屈折率 $n(\lambda)$ 、波長 $1\text{pm}$ 当たりの屈折率の変化量である分散 $dn/d\lambda$ は以下の表12の通りである。

【0141】

【表12】

|      | $n(157.6245\text{nm})$ | $n(157.624\text{nm})$ | $n(157.6235\text{nm})$ | $dn/d\lambda$           |
|------|------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| BaF2 | 1.6510960              | 1.651100              | 1.6211040              | $-3.991 \times 10^{-6}$ |

また、表13において面番号に※を付した光学面は非球面を表し、この非球面形状は、上記式(a)で表される。

$$\begin{aligned} d_0 &= 53.9318 \\ WD &= 12.0917 \\ |\beta| &= 1/4 \\ NA &= 0.75 \end{aligned}$$

【0142】

【表13】

| 面番号  | 曲率半径 r (mm) | 面間隔 d (mm) | 材料      |       |
|------|-------------|------------|---------|-------|
| 1:   | -100.35193  | 12.2780    | 螢石      | L 1 1 |
| *2:  | 173.25952   | 22.5188    |         |       |
| 3:   | 2957.10647  | 37.5294    | 螢石      | L 1 2 |
| 4:   | -123.91124  | 1.0000     |         |       |
| *5:  | 401.76915   | 30.9558    | 螢石      | L 1 3 |
| 6:   | -167.12701  | 1.0000     |         |       |
| 7:   | 160.14344   | 32.5639    | 螢石      | L 1 4 |
| 8:   | -561.13914  | 1.0000     |         |       |
| 9:   | 130.84694   | 27.5637    | 螢石      | L 1 5 |
| *10: | 64.14937    | 19.7545    |         |       |
| 11:  | 1326.12657  | 12.0588    | 螢石      | L 1 6 |
| *12: | 79.28038    | 19.7487    |         |       |
| 13:  | -179.38889  | 12.0000    | 螢石      | L 1 7 |
| 14:  | 175.85617   | 16.8500    |         |       |
| 15:  | -126.34477  | 21.7662    | 螢石      | L 1 8 |
| 16:  | -430.76041  | 1.0035     |         |       |
| *17: | -554.05872  | 32.7681    | 螢石      | L 1 9 |
| 18:  | -125.92657  | 1.1241     |         |       |
| 19:  | 2457.92518  | 31.5823    | 螢石      | L 2 0 |
| 20:  | -220.14715  | 1.0000     |         |       |
| 21:  | 354.79802   | 31.5155    | 螢石      | L 2 1 |
| 22:  | -282.33926  | 1.0000     |         |       |
| 23:  | 478.43567   | 21.1371    | 螢石      | L 2 2 |
| 24:  | -578.52465  | 1.0000     |         |       |
| 25:  | 226.92835   | 28.5955    | 螢石      | L 2 3 |
| *26: | 122.08258   | 14.6058    |         |       |
| *27: | -2764.92201 | 12.0000    | フッ化バリウム | L 2 4 |
| 28:  | 92.56074    | 27.8925    |         |       |
| 29:  | -115.33400  | 18.9417    | フッ化バリウム | L 2 5 |
| *30: | 294.27651   | 2.2139     |         |       |
| 31:  | 373.26874   | 29.2078    | 螢石      | L 2 6 |
| 32:  | -149.78065  | 1.0000     |         |       |
| *33: | 219.84522   | 39.6877    | 螢石      | L 2 7 |
| 34:  | -137.89130  | 2.2987     |         |       |
| 35:  | -145.40651  | 20.0000    | フッ化バリウム | L 2 8 |
| 36:  | 651.33144   | 5.0000     |         |       |
| 37:  | $\infty$    | 5.0000     |         | AS    |
| 38:  | 297.13381   | 44.9643    | 螢石      | L 2 9 |
| 39:  | -153.88170  | 3.4389     |         |       |
| *40: | -137.51846  | 12.2111    | フッ化バリウム | L 3 0 |
| 41:  | -338.49514  | 2.2552     |         |       |
| 42:  | 222.41705   | 42.3168    | 螢石      | L 3 1 |
| 43:  | -199.07230  | 1.6303     |         |       |
| 44:  | -190.03065  | 20.0000    | フッ化バリウム | L 3 2 |
| 45:  | 360.96440   | 1.1493     |         |       |
| 46:  | 200.37522   | 39.5196    | 螢石      | L 3 3 |
| 47:  | -615.58720  | 1.1984     |         |       |
| 48:  | 82.52054    | 32.9835    | 螢石      | L 3 4 |
| 49:  | 218.09275   | 1.0366     |         |       |

|      |           |         |         |       |
|------|-----------|---------|---------|-------|
| 50:  | 78.65925  | 25.8579 | 螢石      | L 3 5 |
| *51: | 450.22903 | 2.1898  |         |       |
| 52:  | 437.09594 | 13.0000 | フッ化バリウム | L 3 6 |
| 53:  | 87.74560  | 1.9672  |         |       |
| 54:  | 99.48304  | 17.7667 | 螢石      | L 3 7 |
| 55:  | 146.38489 | (WD)    |         |       |

以下の表14に、表13中の非球面形状の光学面の非球面データを示す。

【0143】

【表14】

〔第2面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -2.12961 \times 10^{-07} \quad B = 1.09821 \times 10^{-11} \\ C &= 2.30928 \times 10^{-15} \quad D = -6.53888 \times 10^{-19} \\ E &= -1.47169 \times 10^{-23} \quad F = 1.17423 \times 10^{-26}\end{aligned}$$

〔第5面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -1.20222 \times 10^{-07} \quad B = -5.70833 \times 10^{-12} \\ C &= 1.54954 \times 10^{-15} \quad D = -1.11092 \times 10^{-19} \\ E &= 1.02230 \times 10^{-24} \quad F = 1.54127 \times 10^{-28}\end{aligned}$$

〔第10面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= 7.89247 \times 10^{-08} \quad B = -1.10675 \times 10^{-10} \\ C &= -3.30039 \times 10^{-14} \quad D = -5.03380 \times 10^{-18} \\ E &= 2.56453 \times 10^{-22} \quad F = -3.54476 \times 10^{-26}\end{aligned}$$

〔第12面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -2.64010 \times 10^{-07} \quad B = 2.01084 \times 10^{-10} \\ C &= 4.46106 \times 10^{-14} \quad D = 2.45816 \times 10^{-18} \\ E &= 2.04624 \times 10^{-21} \quad F = -7.98657 \times 10^{-27}\end{aligned}$$

〔第17面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -6.17875 \times 10^{-08} \quad B = 1.27502 \times 10^{-11} \\ C &= 1.65143 \times 10^{-15} \quad D = -1.96804 \times 10^{-19} \\ E &= 4.35607 \times 10^{-23} \quad F = -3.91638 \times 10^{-27}\end{aligned}$$

〔第26面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -6.09308 \times 10^{-08} \quad B = -1.38511 \times 10^{-11} \\ C &= 1.09647 \times 10^{-15} \quad D = -6.54943 \times 10^{-19} \\ E &= -5.76995 \times 10^{-23} \quad F = -6.80525 \times 10^{-27}\end{aligned}$$

〔第27面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= -1.63840 \times 10^{+03} \\ A &= -6.35540 \times 10^{-08} \quad B = 1.02179 \times 10^{-11} \\ C &= 1.19695 \times 10^{-15} \quad D = -1.88021 \times 10^{-18} \\ E &= 3.05419 \times 10^{-22} \quad F = -2.39670 \times 10^{-26}\end{aligned}$$

〔第30面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -1.74936 \times 10^{-08} \quad B = 1.16777 \times 10^{-11} \\ C &= -2.82030 \times 10^{-15} \quad D = 1.59537 \times 10^{-19} \\ E &= 4.95954 \times 10^{-23} \quad F = -6.59274 \times 10^{-27}\end{aligned}$$

〔第33面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -1.19387 \times 10^{-10} \quad B = -7.67124 \times 10^{-13} \\ C &= -7.41363 \times 10^{-16} \quad D = -3.87775 \times 10^{-21} \\ E &= 8.27365 \times 10^{-24} \quad F = -1.01103 \times 10^{-27}\end{aligned}$$

〔第40面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= -8.13628 \times 10^{-09} \quad B = 1.22451 \times 10^{-12} \\ C &= 1.25817 \times 10^{-16} \quad D = 1.39682 \times 10^{-20} \\ E &= -5.34992 \times 10^{-25} \quad F = 2.86241 \times 10^{-29}\end{aligned}$$

〔第51面の非球面データ〕

$$\begin{aligned}\kappa &= 0.00000 \\ A &= 3.70718 \times 10^{-07} \quad B = -2.46491 \times 10^{-11} \\ C &= -2.11213 \times 10^{-15} \quad D = 7.18299 \times 10^{-19} \\ E &= -7.02161 \times 10^{-23} \quad F = -2.59543 \times 10^{-26}\end{aligned}$$

図14に、第5実施例にかかる投影光学系のウエハ上での横収差図を示す。ここで、図14(a)は像高Y=8.2mmにおけるメリジオナル方向の横収差図、図14(b)は像高Y=4.1mmにおけるメリジオナル方向の横収差図、図14(c)は像高Y=0mmにおけるメリジオナル方向の横収差図、図14(d)は像高Y=8.2mmにおけるサジタル方向の横収差図、図14(e)は像高Y=4.1mmにおけるサジタル方向の横収差図、図14(f)は像高Y=0mmにおけるサジタル方向の横収差図である。また、図14(a)～図14(f)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}$ による収差曲線、破線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}+0.5\text{pm}$ による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=157.624\text{nm}-0.5\text{pm}$ による収差曲線を表している。

【0144】各収差図からも明らかな通り、第5実施例にかかる投影光学系は、良好な収差補正がなされ、特に $\pm 0.5\text{pm}$ の波長幅の露光エネルギービームに対する色収差が良好に補正されている。また、第5実施例の投影光学系では、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており、160nm以下の波長のもとも照射変動を起こし難い利点がある。従って、第5実施例の投影光学系を露光装置に組み込むことにより、極めて微細なパターンを安定してウエハ上に転写することが可能となる。

【0145】上記第1～第5実施例にかかる投影光学系の条件対応数値を以下の表14に示す。

【0146】

【表15】

|       | (1) $\Sigma Dc / \Sigma D$ | (2) $ (dn1/d\lambda) - (dn2/d\lambda) $ |
|-------|----------------------------|---|
| 第1実施例 | 0.95                       | $0.6 \times 10^6$                       |
| 第2実施例 | 0.94                       | $0.6 \times 10^6$                       |
| 第3実施例 | 0.85                       | $0.35 \times 10^6$                      |
| 第4実施例 | 0.68                       | $0.8 \times 10^6$                       |
| 第5実施例 | 0.86                       | $1.591 \times 10^6$                     |

次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成する際の動作の一例につき図15のフローチャートを参照して説明する。

【0147】まず、図15のステップ101において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ102において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ103において、第1乃至第3実施例（図5、図7、図9）のうち何れかの投影光学系PLを備えた図1の投影露光装置、あるいは第4又は第5実施例（図11、図13）の投影光学系PLを備えた図4の投影露光装置を用いて、レチクルR上のパターンの像がその投影光学系PLを介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ104において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ105において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

【0148】この際に、各実施例の投影光学系は、屈折光学部材としてフッ化物結晶のみを用いており200nm以下の波長のもとでも照射変動を起こし難い利点があるため、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。さて、上記実施例では、2種類以上のフッ化物結晶を組み合わせて色収差補正をしたが、投影光学系に回折光学素子を加えて、回折光学素子による色収差補正効果も併せて利用しても良い。この場合、回折光学素子を透過型とする場合には、フッ化物結晶からなる基板上に回折光学素子を設けることが好ましい。また、このような回折光学素子は凹面鏡や凸面鏡、平面鏡などの反射部材の反射面上に設けても良い。

【0149】さらに、上述の実施例では、光源としてF<sub>2</sub>レーザを用いているが、その代わりに、157nmに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリウムとの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0150】例えば、単一波長レーザ光の発振波長を

1.51～1.59μmの範囲内とすると、発生波長が151～159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.57～1.58μmの範囲内とすると、発生波長が157～158nmの範囲内の10倍高調波、すなわちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を1.03～1.12μmの範囲内とすると、発生波長が147～160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099～1.106μmの範囲内とすると、発生波長が157～158μmの範囲内の7倍高調波、すなわちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしては、イットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いる。

【0151】このように、レーザ光源からの高調波を使用する場合には、この高調波自体が十分に狭いスペクトル幅（例えば0.01pm程度）であるので、上述の光源2の代わりに用いることができる。さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0152】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

#### 【0153】

【発明の効果】上述の如き本発明にかかる露光装置によれば、投影光学系中の屈折光学部材の露光エネルギービームの吸収を実質上影響がない程度に低減でき、露光エネルギービームの吸収による照射変動の発生を実質上無視することができたため、極めて微細なパターンを転写できる。

【0154】また、本発明にかかる露光装置の製造方法によれば、極めて微細なパターンを転写することができる露光装置を提供できる。また、本発明にかかるデバイス製造方法によれば、高密度なパターンを有するデバイスを製造できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる露光装置の第1実施形態を示す

概略構成図である。

【図2】図1中の投影光学系の構成を示す断面図である。

【図3】第1実施形態のユニット別空調システムを示す構成図である。

【図4】本発明にかかる露光装置の第2実施形態を示す概略構成図である。

【図5】第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成図である。

【図6】第1実施例にかかる投影光学系の収差図である。

【図7】第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成図である。

【図8】第2実施例にかかる投影光学系の収差図である。

【図9】第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成図である。

【図10】第3実施例にかかる投影光学系の収差図である。

【図11】図11(a)は第4実施例にかかる投影光学

系のレンズ構成図であり、図11(b)は投影光学系のイメージフィールド内の露光領域形状を示す図である。

【図12】第4実施例にかかる投影光学系の収差図である。

【図13】第5実施例にかかる投影光学系のレンズ構成図である。

【図14】第5実施例にかかる投影光学系の収差図である。

【図15】本発明にかかるデバイス製造方法の実施の形態の一例を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

PL：投影光学系

PLa：第1結像系

PLb：第2結像系

AS：開口絞り

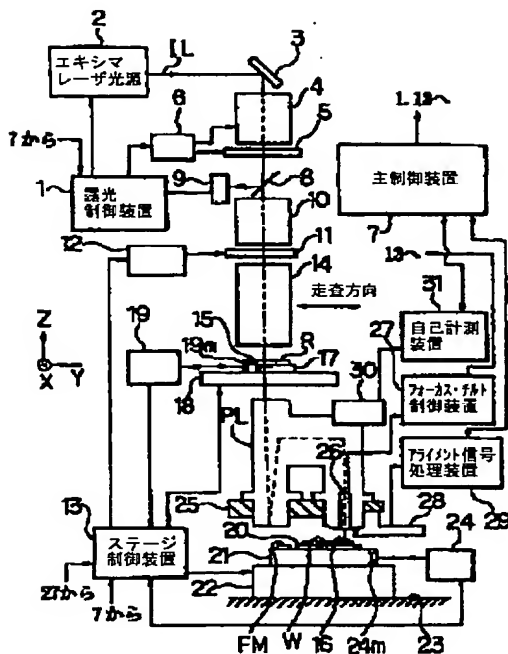
P：保護部材

M1：凹面鏡

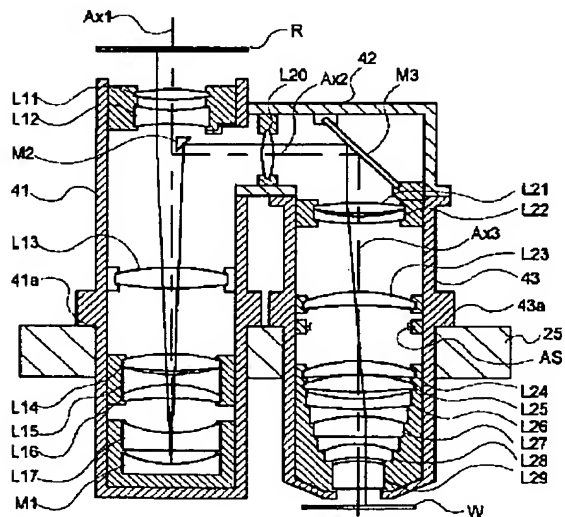
M2：光路折り曲げミラー

BS：ビームスプリッタ

【図1】

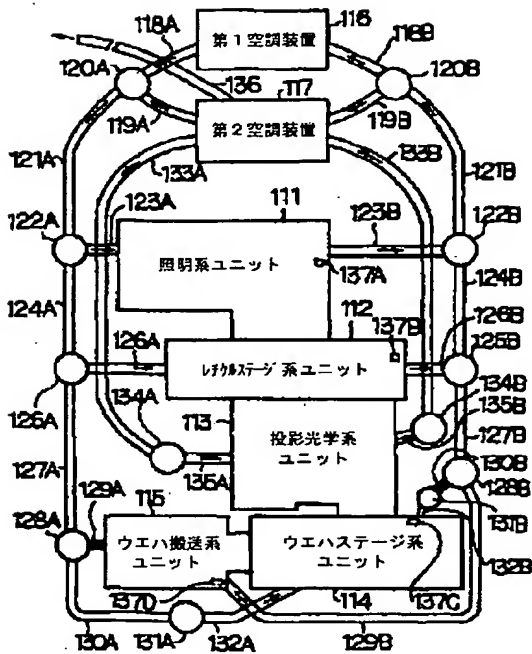


【図2】

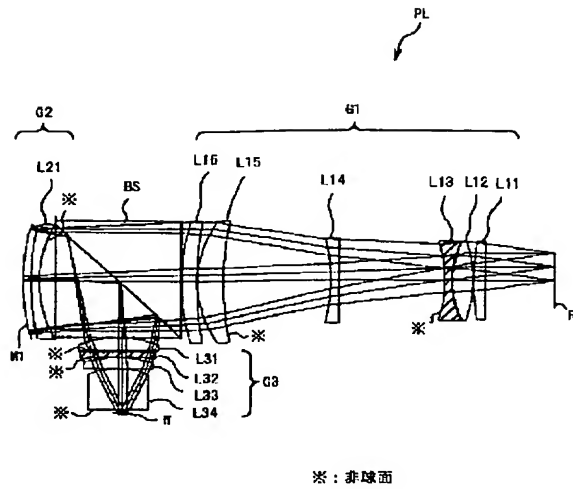




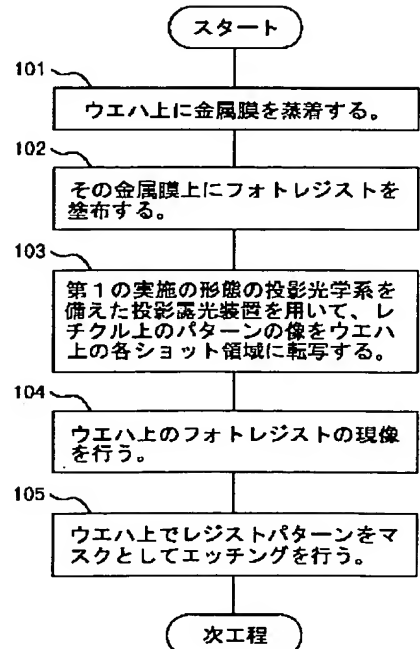
【図3】



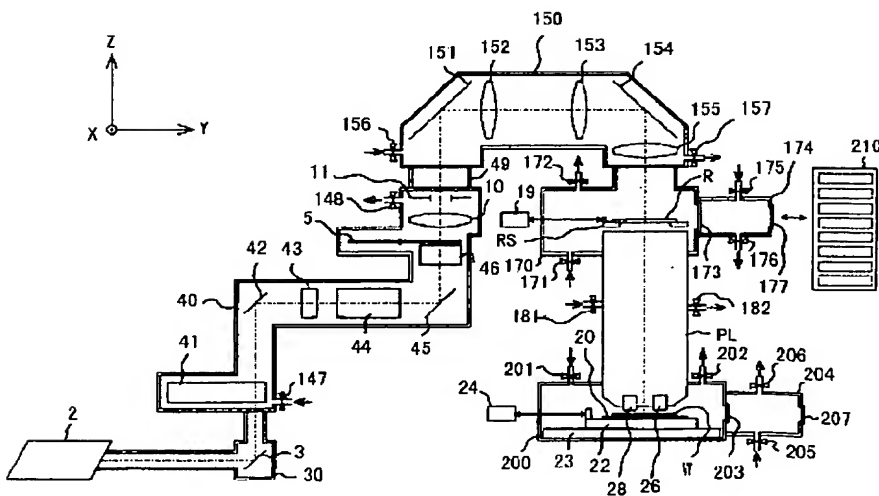
【図7】



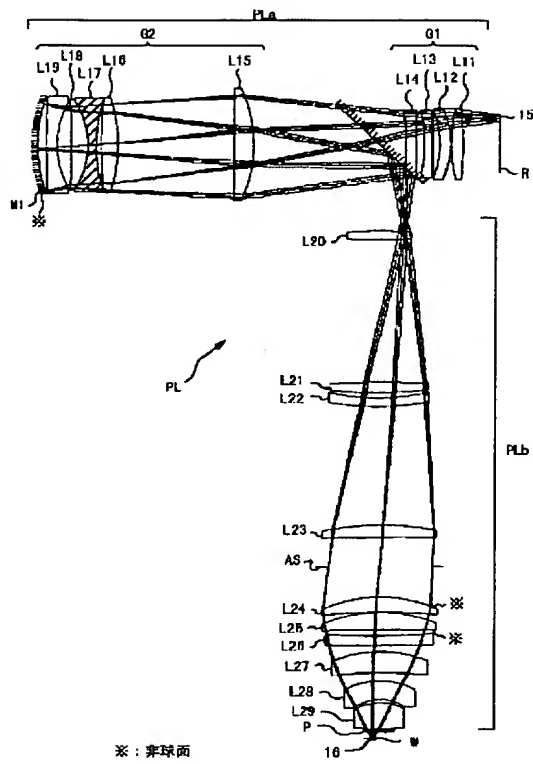
【図15】



【図4】

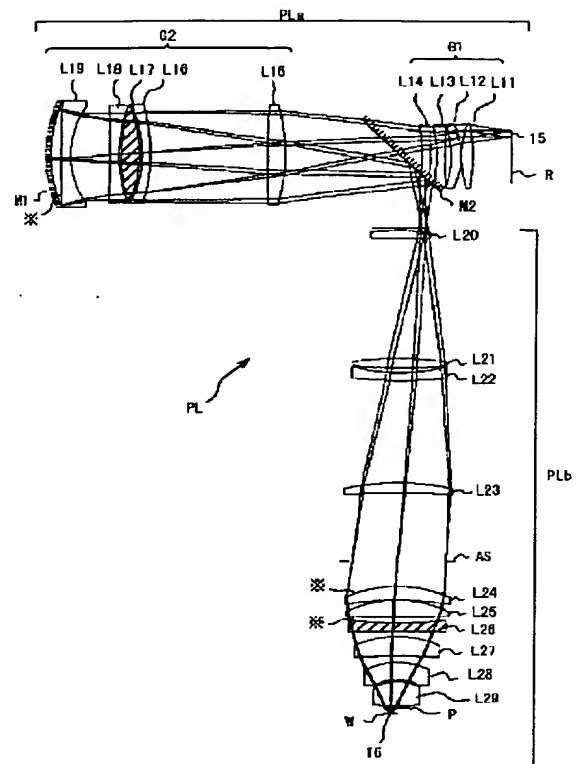


【図5】



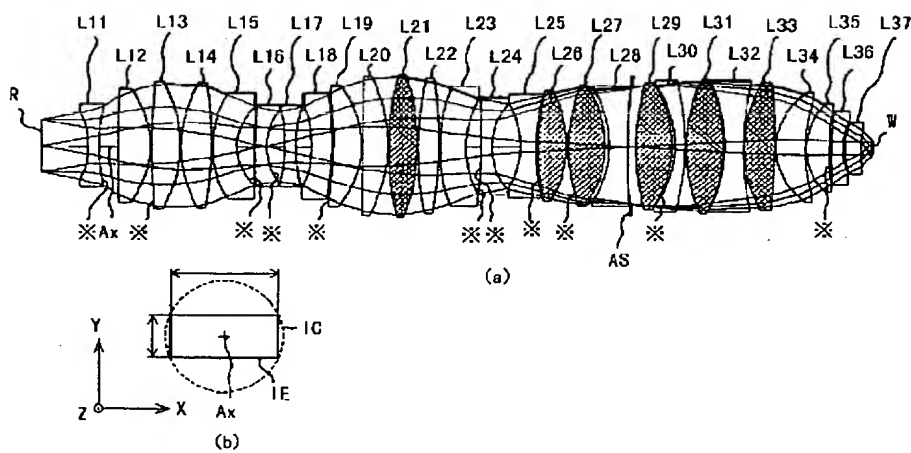
※：非球面

【図9】

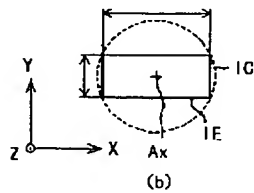


※：非球面

【図11】

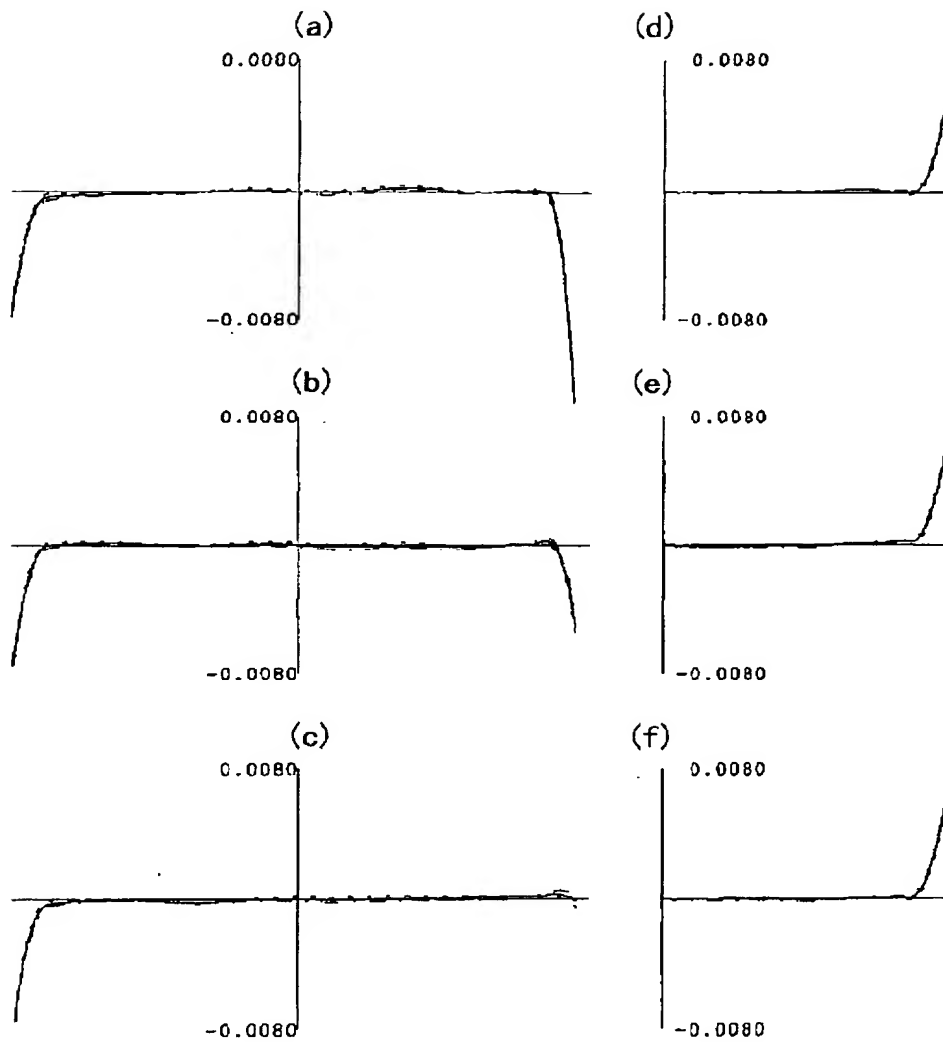


(a)

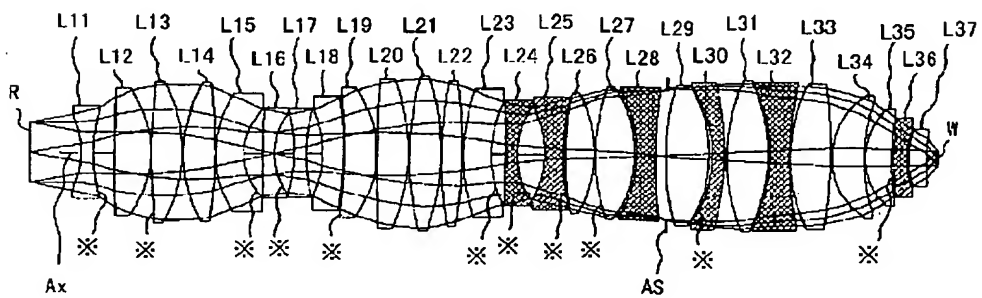


(b)

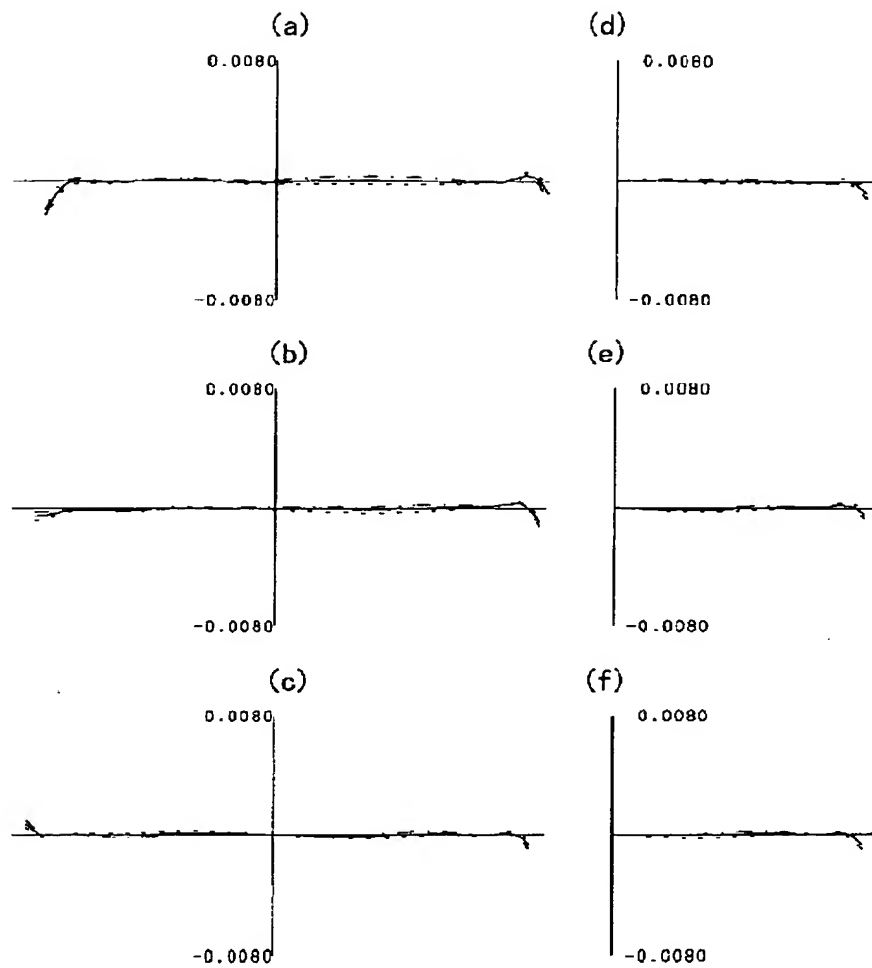
【図6】



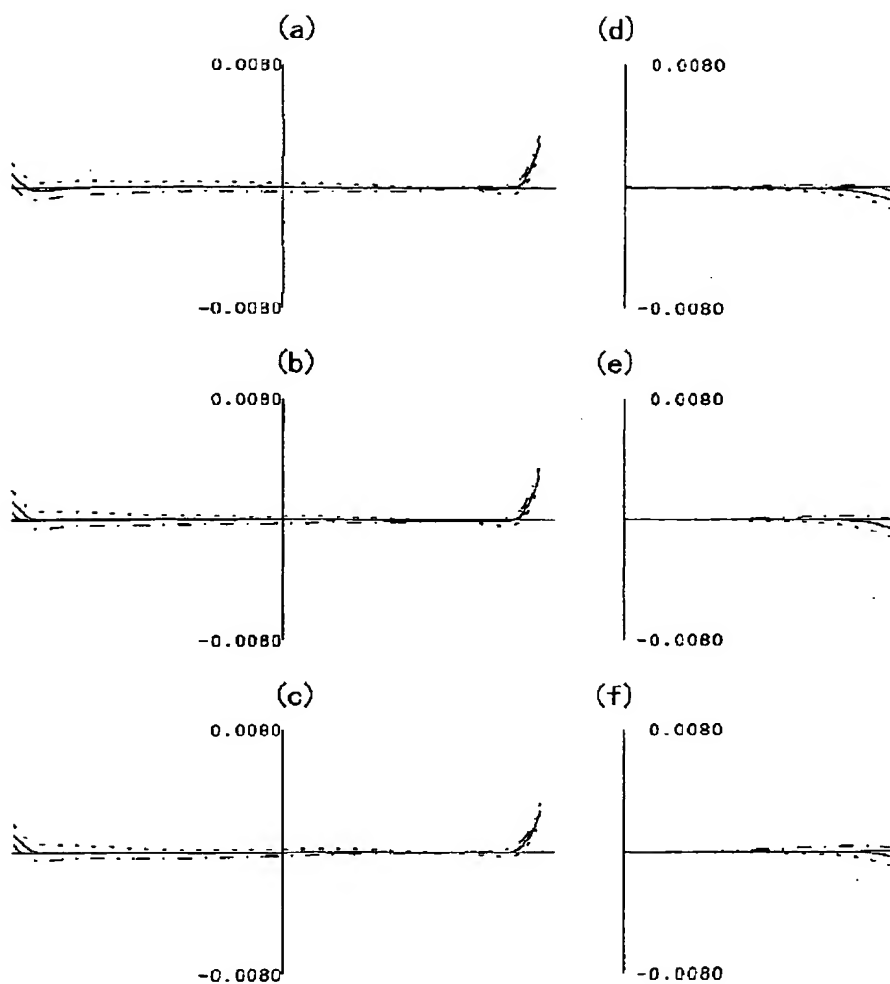
【図13】



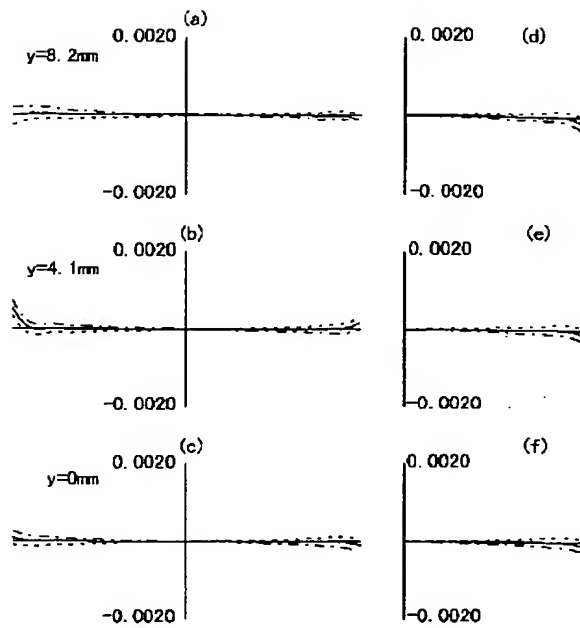
【図8】



【図10】



【図12】



【図14】

